



Technische  
Universität  
Braunschweig

Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig  
Institut für Psychologie  
Abteilung für Ingenieur- und Verkehrspsychologie

Was haben Farb- und Geschwindigkeitswahrnehmung gemeinsam?

Untersuchung der kognitiven Repräsentation von Geschwindigkeiten

Masterarbeit

vorgelegt von  
Max Friedrich  
Matrikelnummer: 4034678

Erstprüfer: Prof. Dr. Mark Vollrath

Zweitprüfer: Dr. Meike Jipp

Braunschweig, 26.08.2015

## **Danksagung**

An dieser Stelle bedanke ich mich herzlich bei Prof. Dr. Mark Vollrath, Dr. Meike Jipp, David Käthner, Dr. Anja Katharina Huemer, Tobias Grosch, Birte Thomas und dem Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt für die Unterstützung bei der Anfertigung meiner Masterarbeit.

## **Inhaltsverzeichnis**

1 Einleitung .....	1
2 Theoretischer Hintergrund und bisherige Erkenntnisse .....	2
2.1 Was ist ein Feature?.....	2
2.2 Feature Integration Theory .....	2
2.3 Guided Search Theory .....	4
2.4 Untersuchungsparadigmen und Auswertungsstrategien.....	5
2.4.1 Visual Search Paradigma.....	5
2.4.2 Sequential Comparison Procedure .....	6
2.4.3 Schlussfolgerung .....	7
2.5 Signal Detection Theory .....	7
2.6 Stand der Erkenntnis.....	8
2.6.1 Treisman (1986) .....	8
2.6.2 Luck und Vogel (1997) .....	10
2.7 Anwendungsbezogene Relevanz der Fragestellung .....	11
2.8 Fragestellung .....	12
2.9 Hypothesen .....	13
3 Methode.....	14
3.1 Paradigma und Stimuli .....	14
3.2 Unabhängige Variablen .....	15
3.2.1 Objektfarben .....	15
3.2.2 Dynamik .....	16
3.2.3 Feature-Veränderung .....	17
3.2.4 Objektanzahl.....	18
3.2.5 Veränderung .....	18
3.3 Bedingungen.....	18

3.4 Randomisierung.....	20
3.5 Abhängige Variablen.....	21
3.6 Kontrollvariablen.....	21
3.6.1 Demographische Daten .....	21
3.6.2 Konzentrationsvermögen und natürliche Reaktionszeit.....	21
3.6.3 Blickverhalten.....	22
3.7 Ablauf eines Trials .....	23
3.8 Training .....	24
3.9 Versuchsaufbau .....	24
3.10 Versuchsmaterial .....	26
3.11 Versuchsablauf .....	26
3.12 Stichprobe.....	26
4 Ergebnisse .....	27
4.1 Kontrollvariablen.....	28
4.1.1 Blickdaten.....	28
4.1.2 Konzentrationsvermögen und natürliche Reaktionszeit.....	28
4.2 Deskriptive Statistiken für die Signalstärke $d'$ .....	29
4.2.1 Farbe (statisch) .....	29
4.2.2 Farbe (dynamisch).....	30
4.2.3 Geschwindigkeit (gleichfarbig, +).....	30
4.2.4 Geschwindigkeit (gleichfarbig, -).....	31
4.2.5 Geschwindigkeit (mehrfarbig, +) .....	32
4.2.6 Geschwindigkeit (mehrfarbig, -) .....	33
4.2.7 Farbe & Geschwindigkeit (+).....	34
4.2.8 Farbe & Geschwindigkeit (-).....	35
4.3 Deskriptive Statistiken für die Reaktionszeit .....	36

4.3.1 Farbe (statisch) .....	36
4.3.2 Farbe (dynamisch) .....	37
4.3.3 Geschwindigkeit (gleichfarbig, +) .....	38
4.3.4 Geschwindigkeit (gleichfarbig, -) .....	39
4.3.5 Geschwindigkeit (mehrfarbig, +) .....	40
4.3.6 Geschwindigkeit (mehrfarbig, -) .....	41
4.3.7 Farbe & Geschwindigkeit (+) .....	42
4.3.8 Farbe & Geschwindigkeit (-) .....	43
4.4 Überprüfung der Hypothesen .....	44
4.4.1 Hypothese 1 .....	44
4.4.2 Hypothese 2 .....	45
4.4.3 Hypothese 3 .....	55
4.4.4 Hypothesen 4 und 5 .....	56
4.4.5 Zusätzliche Analysen: Vergleich der Geschwindigkeitsbedingungen .....	60
5 Diskussion .....	63
5.1 Interpretation und kritische Reflexion der Ergebnisse .....	63
5.2 Schlussfolgerung und Ausblick .....	68
6 Literaturverzeichnis .....	70
Anhang .....	

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Feature Integration Theory nach Treisman (1986) .....	3
Abbildung 2: Guided Search Theory nach Wolfe, Cave und Franzel (1989) .....	4
Abbildung 3: Visual Search Paradigma .....	5
Abbildung 4: Sequential Comparison Procedure .....	6
Abbildung 5: Signal Detection Theory .....	8
Abbildung 6: Beispiele für Target mit Feature (links), Target ohne Feature (Mitte) und <i>Conjunction-Suche</i> (rechts) .....	9
Abbildung 7: Illustration nach Luck und Vogel (1997), Veränderung eines Features .....	11
Abbildung 8: Illustration nach Luck und Vogel (1997), Veränderung zweier Feature .....	11
Abbildung 9: Versuchsparadigma .....	14
Abbildung 10: Bewegungsrichtungen .....	17
Abbildung 11: Target-Stimuli des Konzentrationstests .....	22
Abbildung 12: Fixationskreuz .....	22
Abbildung 13: Blickerfassung .....	23
Abbildung 14: Kennzeichen für eine Pause .....	23
Abbildung 15: Ablauf eines Trials .....	24
Abbildung 16: Versuchsaufbau 1 .....	25
Abbildung 17: Versuchsaufbau 2 .....	25
Abbildung 18: Boxplots für <i>Farbe (statisch)</i> .....	29
Abbildung 19: Boxplots der Signalstärke für <i>Farbe (dynamisch)</i> .....	30
Abbildung 20: Boxplots der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)</i> .....	31
Abbildung 21: Boxplots der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)</i> .....	32
Abbildung 22: Boxplots der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)</i> .....	33
Abbildung 23: Boxplots der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)</i> .....	34
Abbildung 24: Boxplots der Signalstärke für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (+)</i> .....	35
Abbildung 25: Boxplots der Signalstärke für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (-)</i> .....	36
Abbildung 26: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe (statisch)</i> .....	37
Abbildung 27: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe (dynamisch)</i> .....	38
Abbildung 28: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)</i> .....	39
Abbildung 29: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)</i> .....	40
Abbildung 30: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)</i> .....	41

Abbildung 31: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)</i> .....	42
Abbildung 32: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (+)</i> .....	43
Abbildung 33: Boxplots der Reaktionszeiten für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (-)</i> .....	44
Abbildung 34: Interaktionsplot für die Signalstärke .....	46
Abbildung 35: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 2 Objekten .....	51
Abbildung 36: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 4 Objekten .....	52
Abbildung 37: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 6 Objekten .....	53
Abbildung 38: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 8 Objekten .....	54
Abbildung 39: Interaktionsdiagramm der ANOVA für Reaktionszeiten.....	57
Abbildung 40: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 2.....	58
Abbildung 41: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 4.....	58
Abbildung 42: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 6.....	59
Abbildung 43: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 8.....	59
Abbildung 44: Mediane und Konfidenzintervalle der Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen bei gleichfarbigen Objekten sowie Farbveränderung bei statischen Objekten. ....	61
Abbildung 45: Mediane und Konfidenzintervalle der Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen bei mehrfarbigen Objekten sowie Farbveränderung bei dynamischen Objekten. ....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unabhängige Variablen.....	15
Tabelle 2: Geschwindigkeiten der Objekte .....	16
Tabelle 3: Target- Geschwindigkeiten in Grad/s .....	18
Tabelle 4: Bedingungen .....	19
Tabelle 5: Stichprobenbeschreibung .....	27
Tabelle 6: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Farbe (statisch)</i> .....	29
Tabelle 7: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Farbe (dynamisch)</i> .....	30
Tabelle 8: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)</i> ....	31
Tabelle 9: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)</i> ....	31
Tabelle 10: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)</i> ....	32
Tabelle 11: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)</i> ....	33
Tabelle 12: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (+)</i> .....	34
Tabelle 13: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (-)</i> .....	35
Tabelle 14: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe (statisch)</i> .....	36
Tabelle 15: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe (dynamisch)</i> .....	37
Tabelle 16: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)</i> .....	38
Tabelle 17: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)</i> .....	39
Tabelle 18: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)</i> .....	40
Tabelle 19: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)</i> .....	41
Tabelle 20: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (+)</i> .....	42
Tabelle 21: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten für <i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (-)</i> ....	43
Tabelle 22: Ergebnisse des Friedman-Tests für die Signalstärke mit Objektanzahl als unabhängige Variable.....	45
Tabelle 23: Ergebnisse des Friedman-Tests für die Signalstärke mit Feature-Veränderung als unabhängige Variable.....	46
Tabelle 24: Berechnung der Differenzen .....	49



Tabelle 25: Berechnete Konfidenzintervalle für Differenzen der Signalstärke $d'$ .....	50
Tabelle 26: Deskriptive Daten der Feature-Veränderungen für Hypothese 3.....	56
Tabelle 27: Ergebnisse der Varianzanalyse mit Feature-Veränderung und Objektanzahl als unabhängige Variablen und Reaktionszeit als abhängige Variable .....	57

## Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Signalstärke $d'$ .....	8
Formel 2: Berechnung der Geschwindigkeiten bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen .....	18
Formel 3: Berechnung der Geschwindigkeiten bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen .....	18

## **Zusammenfassung**

Die Umwelt des Menschen ist hoch dynamisch. Es ist daher notwendig, die visuelle Wahrnehmung von dynamischen Objekten zu untersuchen. Dynamik setzt sich zusammen aus Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Trajektorie und damit einhergehend Geschwindigkeit. In der vorliegenden Studie lag der Fokus auf der visuellen Wahrnehmung von Geschwindigkeiten als Element der Dynamik. Als theoretische Grundlage diente die Feature Integration Theory (Treisman, 1980). Das Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob Geschwindigkeit ein Feature darstellt. Mithilfe einer Sequential comparison Procedure (Phillips, 1974) wurde die Wahrnehmung von Farb- und Geschwindigkeitsveränderungen untersucht und miteinander verglichen. Hierzu wurden 22 Probanden Szenarien mit statischen sowie dynamischen Quadraten präsentiert, bei denen eines der Quadrate im Vergleichsbildschirm verändert war. Es wurden die Dynamik der Objekte (statisch und dynamisch), die Farbe der Objekte (gleichfarbig und mehrfarbig), die Objektanzahl (2, 4, 6 und 8) sowie die Art der Veränderung (Farbe, Geschwindigkeit oder Farbe und Geschwindigkeit) variiert. In dynamischen Bedingungen bewegten sich die Objekte auf linearen Trajektorien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Als abhängige Variablen wurden Reaktionszeit und die Signalstärke  $d'$  erfasst. Zur Kontrolle von eventuellen Effekten durch systematische Blickzuwendungen wurden Blickdaten herangezogen. Als Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse dienten die Erkenntnisse früherer Studien von Treisman (1980) sowie Luck und Vogel (1997), in denen die Wahrnehmung von Farben untersucht wurde. Die Effekte von Treisman (1980) und Luck und Vogel (1997) konnten repliziert werden. Die Objektanzahl hatte einen signifikanten Effekt auf die Signalstärken sowie Reaktionszeiten, wobei Interaktionseffekte zwischen der Objektanzahl und der Art der Veränderung vorlagen. In Bedingungen, in denen Objekte gleichfarbig waren und die Geschwindigkeit erhöht wurde, zeigten sich Signalstärken, die ähnlich hoch waren wie bei Bedingungen mit einer reinen Farbveränderung. Eine Geschwindigkeitsreduktion führte dagegen unabhängig von der Objektfarbe zu schlechteren Signalstärken. Bei niedrigen Objektanzahlen waren die Reaktionszeiten für Geschwindigkeitsveränderungen höher als für Farbveränderungen, dieser Effekt nahm jedoch mit steigender Objektanzahl ab. Die Ergebnisse legen nahe, dass Geschwindigkeit ein Feature darstellt, jedoch ist eine genauere Spezifikation von Features nötig, um Features untereinander vergleichbar zu machen und zu exakteren Aussagen zu gelangen.

## 1 Einleitung

Eine Vielzahl kognitionspsychologischer Studien beschäftigt sich mit der visuellen Wahrnehmung von Objekten und deren kognitiver Repräsentation im visuellen Kurzzeitgedächtnis (z.B. Luck & Vogel, 1997; Kim und Cave, 1995 und Schoenefeld, et al., 2003). Das Ziel dieser Studien ist es, ein Verständnis für die Prozesse bei der Objektwahrnehmung zu schaffen, die im visuellen System ablaufen. Darauf aufbauend sollen quantitative Modelle erstellt und die visuelle Wahrnehmung simuliert werden. Es existieren zurzeit zwei wegweisende Theorien zur kognitiven Repräsentation im visuellen System, die Feature Integration Theory von Treisman (1980 und 1986) und die Guided Search Theory von Wolfe, Cave und Frenzel (1989). Die Guided Search Theory stellt dabei eine Weiterentwicklung der Feature Integration Theory dar. Zentrales Konzept der Theorien sind die sogenannten Feature. Feature sind bestimmte Merkmale eines Objekts, beispielsweise Farbe, Form oder Ausrichtung. Eine Vielzahl von Studien untersuchte bereits die Mechanismen der visuellen Wahrnehmung von Features. Dabei wurde hauptsächlich die visuelle Wahrnehmung von statischen, das heißt sich nicht bewegendem Objekten untersucht. Da die Umgebung in der Menschen leben und seit jeher gelebt haben jedoch hoch dynamisch ist, also in großen Teilen von sich bewegendem Objekten charakterisiert ist, lassen sich die Ergebnisse der meisten Studien nur begrenzt auf die visuelle Objektwahrnehmung im Alltag übertragen. Wie die visuelle Wahrnehmung von Features funktioniert, wenn die Objekte, die dieses Feature beinhalten (z.B. Objektfarbe) dynamisch sind, wurde erst in wenigen Studien untersucht (z.B. Nothdurft, 1993 und Treisman, 1986). Es ist daher notwendig, die Prozesse bei der Wahrnehmung von Features bei dynamischen Objekten näher zu untersuchen. Dieser Frage wurde als Ausgangspunkt der vorliegenden Studie nachgegangen.

Zusätzlich zur Untersuchung der Wahrnehmung von Features dynamischer Objekte lag der Fokus der vorliegenden Studie auf der Untersuchung von Bewegung als eigenes Feature. Es existieren Studien, die Bewegung als ein mit Farbe und Form vergleichbares Feature identifiziert haben (z.B. Treisman, 1986). Eine zentrale Frage bei der Untersuchung von Bewegung als Feature ist, wodurch Bewegung charakterisiert ist. Die Bewegung eines Objekts beinhaltet immer eine Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Trajektorie und damit einhergehend eine Geschwindigkeit. In den Arbeiten von Treisman (1986) zu Bewegung als Feature wurde nicht nach diesen Elementen der Bewegung differenziert. Es stellt sich die Frage, ob Veränderungen der Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Trajektorie oder

Geschwindigkeit als Elemente der Bewegung genauso gut wahrgenommen werden wie ein Feature, oder ob lediglich das Vorhandensein oder nicht-Vorhandensein einer Bewegung ein Feature darstellt. In der vorliegenden Arbeit wurde daher untersucht, ob Geschwindigkeit als Teil der Bewegung ein Feature darstellt oder ob von einer separaten kognitiven Repräsentationsform von Geschwindigkeiten auszugehen ist.

## **2 Theoretischer Hintergrund und bisherige Erkenntnisse**

Es existieren momentan zwei führende Theorien, die sich mit der visuellen Objektwahrnehmung befassen. Dies ist zum einen die Feature Integration Theory von Treisman (Treisman, 1980) und zum anderen die Guided Search Theory von Wolfe (Wolfe, Cave, & Franzel, 1989). Als zentralen Begriff bei der visuellen Wahrnehmung wird im Folgenden als erstes erläutert, was unter dem Begriff Feature zu verstehen ist, woraufhin die beiden zentralen Theorien zur visuellen Objektwahrnehmung dargestellt werden. Anschließend geht es um Methoden und Paradigmen, die sich bei der Untersuchung der visuellen Wahrnehmung etabliert haben. Schlussendlich werden die zur Auswertung herangezogene Signal detection theory (Green & Sweets, 1966), für die Untersuchung relevante Studien und die untersuchte Fragestellung vorgestellt.

### **2.1 Was ist ein Feature?**

Als Feature wird ein Merkmal eines Objekts bezeichnet, das parallel und ohne Zuwendung von Aufmerksamkeit detektiert werden kann. Bei einem Feature kann es zu Pop-Out-Effekten kommen, d.h. das Merkmal wird sofort wahrgenommen – es springt sozusagen ins Auge. Verantwortlich für diese Eigenschaft von Merkmalen sind bestimmte Rezeptoren im Gehirn, die selektiv auf Merkmale wie Farbe, Orientierung oder Bewegung reagieren (Zeki, 1967). In Studien wurden als Feature bereits Farbe (D'Zmura, 1991), Größe (Treisman & Sato, 1990), Orientierung und Bewegung (Nothdurft, 1993) von Objekten untersucht.

### **2.2 Feature Integration Theory**

Das bekannteste Modell der visuellen Aufmerksamkeit ist in der Feature-Integration Theory von Anne Treisman (Treisman, 1980) dargestellt. Im Folgenden wird das Modell beschrieben. Treisman unterscheidet in ihrem Modell zwischen mehreren Phasen der visuellen Wahrnehmung. In der ersten Phase, der prä-attentiven Phase, kommt es zur Detektion einzelner Feature. Dieser Prozess ist ein Bottom-Up Prozess, d.h. er erfolgt automatisch und erfordert keine gerichtete Aufmerksamkeit. Die Feature werden parallel detektiert und in so genannten Feature-Maps gespeichert (siehe Abbildung 1). Für jedes

Feature existiert eine eigene Feature-Map. Zu diesem Zeitpunkt der Verarbeitung kann noch keine Aussage über die Lokation der einzelnen Feature getroffen werden, es kann lediglich die Aussage gemacht werden, ob ein bestimmtes Feature vorhanden ist oder nicht.

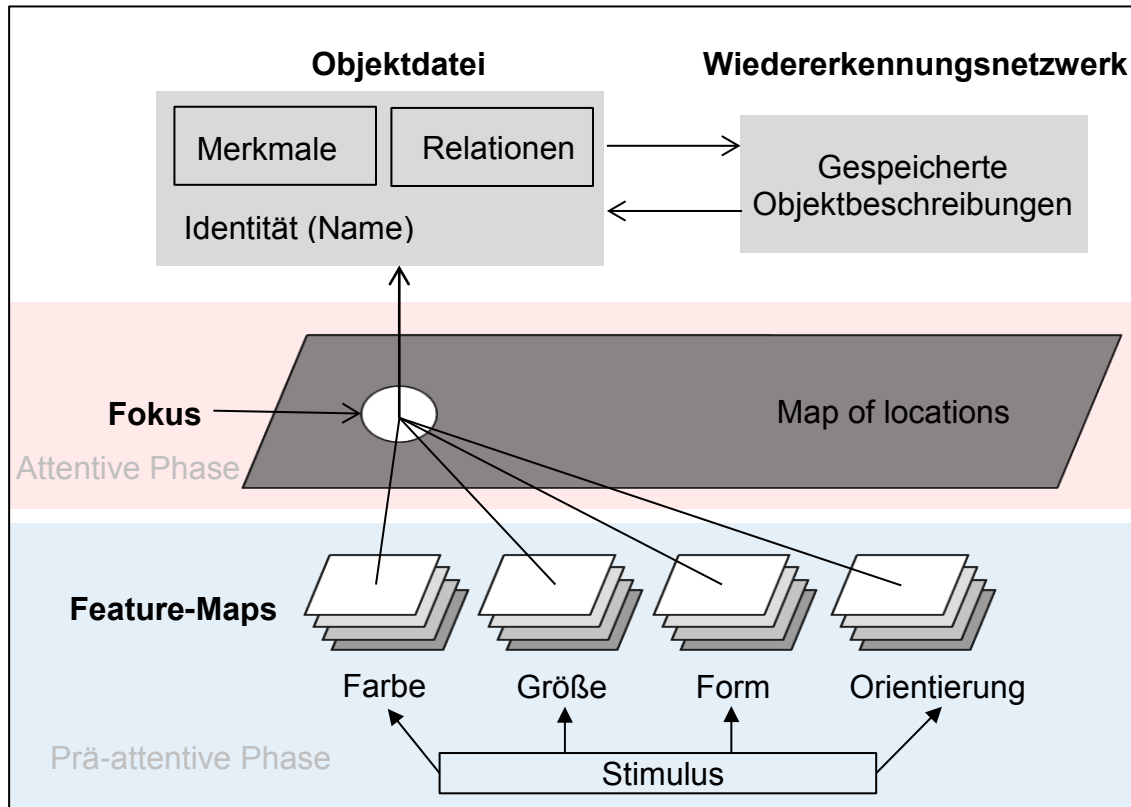


Abbildung 1: Feature Integration Theory nach Treisman (1986)

Während der attentiven Phase werden die einzelnen Feature kombiniert und zu einem Objekt zusammengesetzt. Um die einzelnen Feature zu kombinieren, bedarf es gerichteter Aufmerksamkeit. Der Aufmerksamkeitsfokus wandert über eine so genannte Aufmerksamkeitskarte (Map of Locations). Die Aufmerksamkeitskarte beinhaltet die Lokationen, in denen Feature detektiert wurden, außerdem besteht Zugang zu den einzelnen Feature-Maps. Wandert der Aufmerksamkeitsfokus über die Aufmerksamkeitskarte, werden alle Feature an dem Punkt, auf dem der Fokus liegt, kombiniert und zu einem Objekt zusammengefügt. Dieser Prozess erfolgt seriell. Das Objekt wird in einer Objektdatenbank gespeichert und mit anderen schon gespeicherten Objekten im Gedächtnis verglichen. Findet eine Übereinstimmung mit einem schon erkannten Objekt statt, wird das neue Objekt als gleich identifiziert und diese Information in der Objektdatenbank abgelegt. Dieser Prozess ist ein Top-Down Prozess. Bewegt sich das Objekt, bedarf es lediglich einer Aktualisierung des

Orts. Die Informationen des Objekts bleiben in der Objektdaten gespeichert und das Objekt wird am neuen Ort wieder erkannt.

## 2.3 Guided Search Theory

Die Guided Search Theory (Wolfe, Cave, & Franzel, 1989) basiert auf dem Modell der Feature Integration Theory. Der zentrale Unterschied ist, dass im Modell der Guided Search Theory Informationen von den parallelen Prozessen direkt an die seriellen Prozesse weitergegeben werden können. Informationen über die Lokation der Feature werden bereits in den Feature-Maps gespeichert. In der attentiven Phase kann der Aufmerksamkeitsfokus dann direkt auf die Regionen gelenkt werden, in denen Feature während des parallelen Prozesses erkannt wurden. Diese elementare Veränderung impliziert, dass der serielle Prozess in der attentiven Phase im Guided-Search Modell effizienter ist als in der Feature Integration Theory. Wolfe, Cave und Franzel (1989) konnten dies zumindest für eine Kombination aus drei unterschiedlichen Features zeigen. Das Guided-Search Modell ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

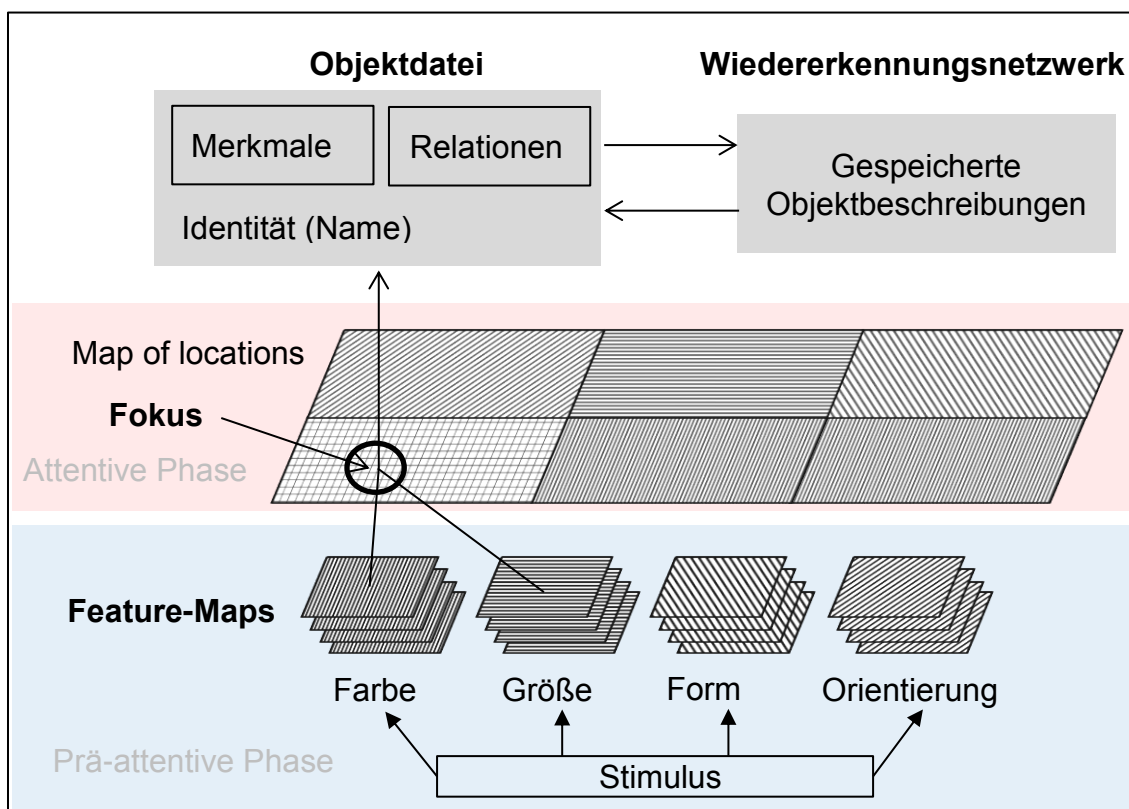


Abbildung 2: Guided Search Theory nach Wolfe, Cave und Franzel (1989)

## 2.4 Untersuchungsparadigmen und Auswertungsstrategien

Es haben sich unterschiedliche Paradigmen und Auswertungsstrategien zur Untersuchung der visuellen Wahrnehmung von Objekten etabliert. Im Folgenden werden das Visual Search Paradigma sowie die Sequential comparison procedure vorgestellt, da diese die am häufigsten verwendeten Paradigmen sind. Vor- und Nachteile der Paradigmen werden diskutiert. Zudem wird die Signal Detection Theory vorgestellt, die eine etablierte Auswertungsstrategie ist und in der vorliegenden Untersuchung zur Auswertung herangezogen wurde.

### 2.4.1 Visual Search Paradigma

Visual Search ist das am häufigsten verwendete Paradigma der visuellen Wahrnehmungsforschung (z.B. Treisman, 1980 und 1986). Die Aufgabe des Probanden besteht darin, ein vorgegebenes Zielobjekt, das so genannte Target, in einer Gruppe von Ablenkobjekten (Distraktoren) zu entdecken. Entdeckt die Versuchsperson das Target, antwortet sie mit Ja, ist sie jedoch der Meinung, das Target befindet sich nicht unter den Objekten, antwortet sie mit Nein. Gemessen wird die Reaktionszeit ab Beginn der Objektpräsentation bis zur Reaktion der Versuchsperson. Das Visual Search Paradigma ist in Abbildung 3 anhand eines Beispiels veranschaulicht. Das Kreuz im ersten Bild stellt ein Fixationskreuz dar, auf das die Versuchsperson ihre Augen richten soll. Diese Vorgehensweise soll sicherstellen, dass alle Versuchspersonen bei Beginn der Objektpräsentation auf die gleiche Stelle schauen. Die Instruktion wäre hier beispielsweise: „Befindet sich ein grünes Objekt auf dem Bildschirm?“. Das grüne Quadrat stellt das Target dar.

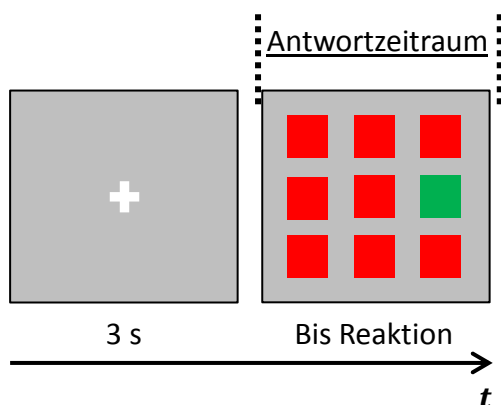


Abbildung 3: Visual Search Paradigma



Das Paradigma eignet sich zur Untersuchung der Wahrnehmung von Features, da die Auswirkung einer Manipulation eines bestimmten Features mithilfe der Reaktionszeit quantifiziert werden kann. Nachteil des Paradigmas ist jedoch, dass keine Vergleichsoperationen vorgenommen werden können, aus denen hervorgeht, wie gut eine Veränderung eines Features wahrnehmbar ist. Außerdem ist es möglich, dass durch die lange Präsentationszeit bestimmte Augenbewegungen zusätzliche Varianz in den Reaktionszeiten erzeugen. Als Alternative wurde deshalb die im folgenden Abschnitt beschriebene Sequential Comparison Procedure (Phillips, 1974) entwickelt.

## 2.4.2 Sequential Comparison Procedure

Im Visual Search Paradigma sind die Objekte sichtbar, bis die Versuchsperson reagiert. In vielen Studien (z.B. Luck & Vogel, 1997 und Papenmeier, Huff & Schwan, 2012) wurde das Paradigma in Anlehnung an Phillips (1974) jedoch dahingehend verändert, dass die Objekte nur für eine kurze Zeit sichtbar sind. Die Präsentationsdauer des zweiten Bildes in Abbildung 3 würde dann beispielsweise maximal 400 ms betragen. Diese Methode wird als Sequential Comparison Procedure bezeichnet. Der Ablauf der Sequential Comparison Procedure wird im Folgenden dargestellt. Es werden nacheinander zwei Bilder mit einer kurzen Verzögerung präsentiert. Die Aufgabe der Versuchsperson ist es, die Bilder zu vergleichen und zu entscheiden, ob sie identisch sind oder nicht. Aufgaben, bei denen das Ziel ist, eine Veränderung zwischen zwei Bildern zu entdecken, werden als Change Detection Tasks bezeichnet. In Abbildung 4 ist dieses Vorgehen veranschaulicht. Das erste Bild wird dabei als Sample und das zweite Bild als Test bezeichnet. Im dargestellten Beispiel Fall sind die Bilder nicht identisch. Das grüne Quadrat im zweiten Bild stellt das Target dar.

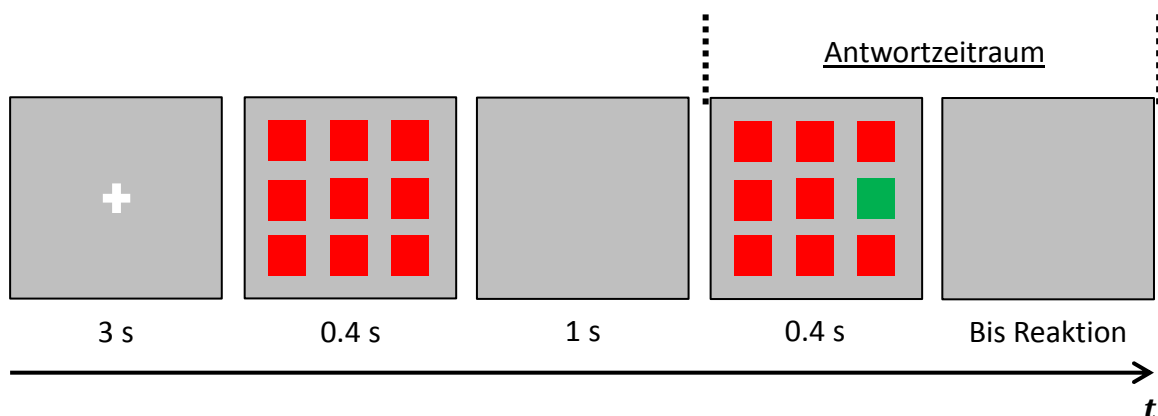


Abbildung 4: Sequential Comparison Procedure

Die Methode hat den Vorteil, dass systematische Augenbewegungen als Störvariable ausgeschlossen werden können (Wolfe, 1994). Da die Reaktionszeit in diesem Paradigma nur bedingt aussagekräftig ist, wird die Anzahl an korrekten Antworten als abhängige Variable hinzugezogen. Es können außerdem Aussagen darüber gemacht werden, wie gut die Veränderung eines Features wahrnehmbar ist. Durch die Anzahlen der korrekten und inkorrekten Antworten lässt sich die Wahrnehmbarkeit einer Feature-Veränderung quantifizieren. Eine Methode zur Quantifizierung der Wahrnehmbarkeit von Feature-Veränderungen wird in Abschnitt 2.5 vorgestellt.

### **2.4.3 Schlussfolgerung**

In der vorliegenden Studie wurde die Sequential Comparison Procedure durchgeführt. Im Visual Search Paradigma kann es durch zufällige Blickbewegungen auf das Target zu einer verrauschten Reaktionszeit kommen, dies sollte hier verhindert werden. Zudem ist bei der Sequential Comparison Procedure eine Quantifizierung der Wahrnehmbarkeit der Feature-Veränderung im Rahmen einer Signalstärke nach der Signal Detection Theory möglich. Im folgenden Abschnitt wird das Vorgehen der Signal Detection Theory erläutert.

## **2.5 Signal Detection Theory**

In diesem Abschnitt wird ein kurzer Überblick über die Signal Detection Theory (Signalentdeckungstheorie) gegeben, erstmals vorgestellt von Green & Sweets (1966). Durch die Signal Detection Theory lässt sich die Wahrnehmbarkeit von Feature-Veränderungen quantifizieren. In der Signal Detection Theory wird die Intensität eines Ereignisses, das heißt hier, wie gut das Ereignis wahrnehmbar ist, als Signal bezeichnet. Es wird angenommen, dass das Signal durch Störeinflüsse verrauscht ist. Bei Entdeckungsaufgaben, wie in dem Beispiel in Abbildung 4, stellt das Signal die Wahrnehmbarkeit der Farbveränderung des Quadrates dar. Die Distraktoren sind der Störeinfluss, der das Signal verrauscht. Ein Signal führt zu neuronaler Aktivität. Je intensiver das Signal ist, sprich je mehr es sich vom Rauschen abhebt, desto größer ist die neuronale Aktivität und desto mehr Evidenz spricht dafür, dass das Ereignis stattgefunden hat. Damit eine Person angibt, ein Ereignis wahrgenommen zu haben, muss die Intensität einen Schwellenwert, das so genannte Antwortkriterium, überschreiten.

In Paradigmen, die die Signal Detection Theory zugrunde legen, werden verschiedene Trials durchgeführt, in denen entweder eine Veränderung stattfindet oder alles gleich bleibt. Im ersten Fall ist das Signal also da, im zweiten Fall nicht. Die Probanden haben die Möglichkeit mit „Ja“ für „Ich habe eine Veränderung wahrgenommen“ und „Nein“ für „Ich

habe keine Veränderung wahrgenommen“ zu antworten. Wird mit „Ja“ geantwortet und es gab ein Signal, wird dies als „Treffer“ („Hit“) bezeichnet, antwortet die Person mit „Nein“, ist es zu ein „Fehler“ („Miss“). Gab es kein Signal und die Person antwortet mit „Ja“, wäre die Antwort ein „falscher Alarm“ („False Alarm“) und antwortet sie mit „Nein“ wäre dies die „korrekte Ablehnung“ („Correct Rejection“). Abbildung 5 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

		Signal	
		vorhanden	nicht vorhanden
Antwort	ja	Treffer	Falscher Alarm
	nein	Fehler	Korrekte Ablehnung

Abbildung 5: Signal Detection Theory

Aus den vier Feldern in Abbildung 5 lässt sich für jede Person der Sensitivitätsindex  $d'$  berechnen, der als Signalstärke bezeichnet wird. Der Vorteil dieses Kennwerts ist, dass Antworttendenzen kontrolliert werden können, die zu ungenauen Schätzungen der Signalstärke führen. Um  $d'$  zu berechnen, wird der relative Anteil der Treffer an der Summe aus Treffern und Fehlern sowie der relative Anteil der falschen Alarme an der Summe aus falschen Alarmen und korrekter Ablehnung berechnet. Diese Werte werden z-transformiert und voneinander subtrahiert (siehe Formel 1). Man erhält also die Differenz der beiden Verteilungen, die als Signalstärke interpretiert wird.

$$d' = z\left(\frac{\sum \text{Treffer}}{\sum \text{Treffer} + \sum \text{Fehler}}\right) - z\left(\frac{\sum \text{Falscher Alarm}}{\sum \text{Falscher Alarm} + \sum \text{Korrekte Ablehnung}}\right)$$

Formel 1: Berechnung der Signalstärke  $d'$

## 2.6 Stand der Erkenntnis

In diesem Abschnitt soll ein Überblick über die Studien gegeben werden, auf deren Grundlage die Fragestellung und das Vorgehen der vorliegenden Untersuchung basieren.

### 2.6.1 Treisman (1986)

Treisman untersuchte unter Verwendung des Visual Search Paradigma die Wahrnehmung von Features in unterschiedlichen experimentellen Settings (Treisman, 1986). In einem Experiment wurde den Versuchspersonen Bilder mit variierender Objektanzahl präsentiert. Dabei sollten sie eine *Feature-Suche* durchführen. *Feature-Suche* bedeutet, dass sich das zu identifizierende Target nur in der Ausprägung eines Features von den anderen

Objekten unterscheidet. Es wurden einerseits Bilder präsentiert, in denen das Objekt ein Feature mehr besaß als die Distraktoren (siehe Abbildung 6, links). Andererseits gab es Trials, in denen das Target ein Feature weniger besaß als die Distraktoren (siehe Abbildung 6, Mitte). Untersuchte Feature waren Farbe, Ausrichtung, Form und Größe der Objekte. Treisman stellte fest, dass die Anzahl an Objekten keinen Einfluss auf die Reaktionszeit hat, wenn das zu entdeckende Objekt das Feature besitzt. In diesen Fällen kommt es zu einem Pop-Out Effekt des Targets. Fehlt dem Objekt das Feature, steigt die Reaktionszeit etwa linear mit der Objektanzahl an und es ist kein Pop-Out Effekt beobachtbar.

Die Aufgabenstellung in einem zweiten Experiment von Treisman erforderte eine sogenannte *Conjunction-Suche*. In einer *Conjunction-Suche* lässt sich das Target nicht mehr nur in einem Feature von den Distraktoren unterscheiden, sondern zwei Feature sind beim Target anders als bei den Distraktoren. In Abbildung 6 ist rechts ein Beispiel eines solchen Szenarios dargestellt. Die Instruktion für die Probanden würde in diesem Beispiel lauten: „Befindet sich ein rotes, vertikales Rechteck auf dem Bildschirm?“. Treisman fand heraus, dass die Reaktionszeit bei *Conjunction-Suche* linear mit der Objektanzahl ansteigt. Außerdem kommt es bei *Conjunction-Suchen* zu keinem Pop-Out Effekt. Dies lässt sich dadurch begründen, dass das Target sich nicht mehr nur in einem einzigen Feature von den Distraktoren unterscheidet, sondern in der Ausprägung zweier Feature. Zusätzlich besitzen die Distraktoren teilweise eines der Target-Feature. Ähnlichkeit von Feature-Ausprägungen zwischen Distraktoren und Targets sowie zwischen Distraktoren untereinander erschwert die *Conjunction-Suche* und verlängert die Reaktionszeit (Duncan & Humphreys, 1989).

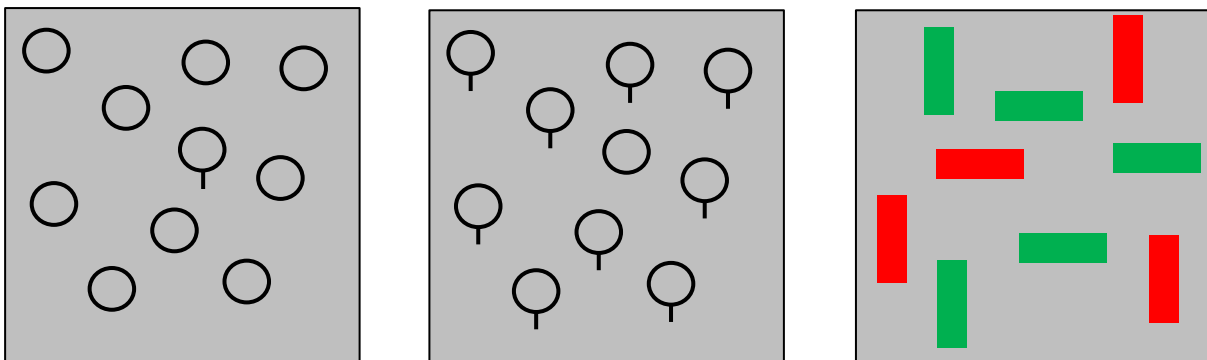


Abbildung 6: Beispiele für Target mit Feature (links), Target ohne Feature (Mitte) und *Conjunction-Suche* (rechts)

### 2.6.2 Luck und Vogel (1997)

Luck und Vogel führten eine sehr ähnliche Untersuchung durch wie Treisman (1986). Sie verwendeten in ihrer Untersuchung jedoch die Sequential Comparison Procedure. Unter anderem untersuchten sie, wie sich die Objektanzahl auf die Wahrnehmung der Veränderung der Farbe eines Objekts auswirkt. Sie präsentierten den Probanden Bilder mit 1-12 unterschiedlich farbigen Quadraten und veränderten im Test die Farbe eines Quadrats. Als abhängige Variable maßen sie den Anteil an korrekten Antworten und stellten fest, dass die Performanz mit steigender Objektanzahl abnimmt. Eine approximierte Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 7 zu sehen. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen der Experimente von Treisman (1986) zur *Conjunction-Suche* und *Feature-Suche*, wenn das Target das Feature nicht besitzt.

Sie untersuchten zudem, wie es sich auf die Performanz der Versuchspersonen auswirkt, wenn sich zwei Features ändern können. Sie präsentierten den Probanden 2-6 unterschiedlich farbige Rechtecke und veränderten im Test entweder die Farbe, Ausrichtung oder Farbe und Ausrichtung eines Rechtecks. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 veranschaulicht. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bedingungen, was Luck und Vogel zu dem Schluss führte, dass die visuelle Aufmerksamkeit eher auf das Objekt als Ganzes gerichtet wird als auf einzelne Features. Dies erklärt, warum die Performanz bei der Veränderung eines Features vergleichbar ist mit der Performanz in der Bedingung, in der sich zwei Features ändern.

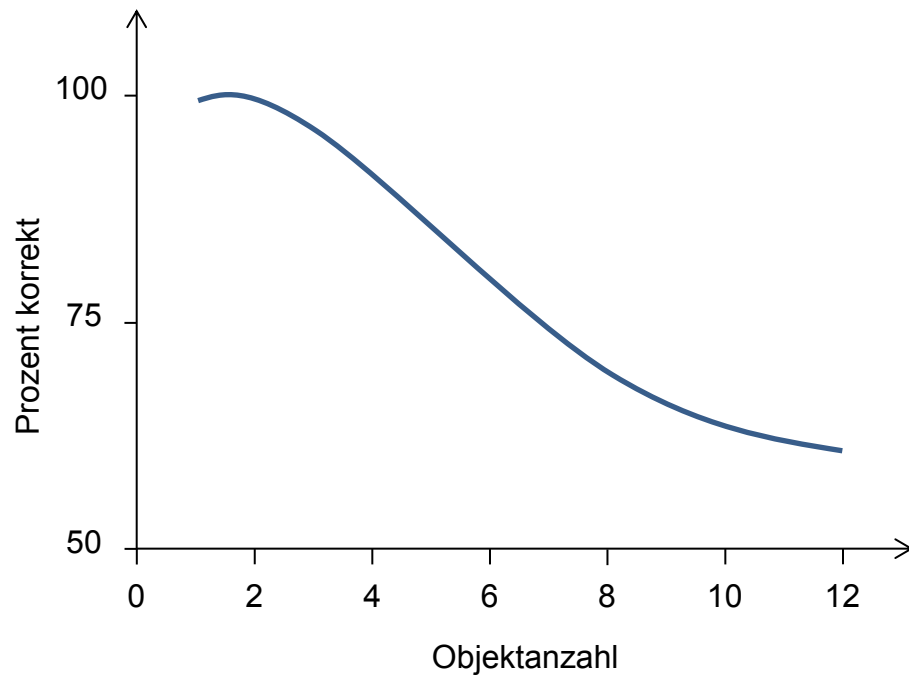


Abbildung 7: Illustration nach Luck und Vogel (1997), Veränderung eines Features

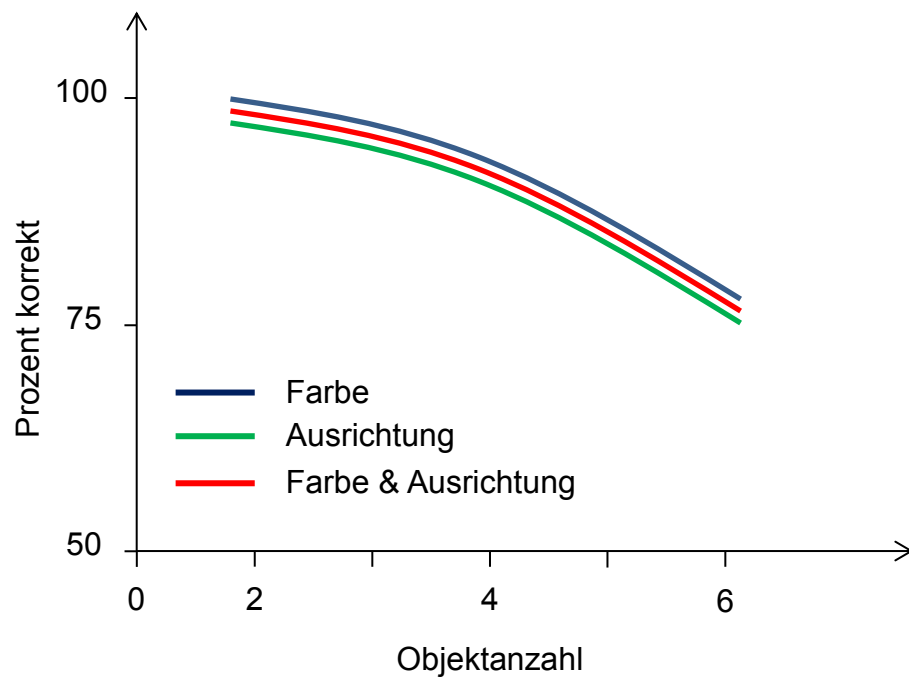


Abbildung 8: Illustration nach Luck und Vogel (1997), Veränderung zweier Feature

## 2.7 Anwendungsbezogene Relevanz der Fragestellung

Die kognitive Repräsentation von Geschwindigkeiten spielt beispielsweise im Feld der Fahrermodellierung eine entscheidende Rolle. Ohne eine korrekte Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer ist das Ausführen der

Fahraufgabe unmöglich. Möchte man ein möglichst exaktes Modell der kognitiven Abläufe beim Autofahren erhalten, ist es essentiell zu untersuchen, wie Geschwindigkeiten kognitiv repräsentiert sind. Dafür ist es notwendig Wissen darüber zu erlangen, wie Objekte in der Umgebung des Fahrers visuell wahrgenommen und verarbeitet werden. Aus der Forschung kann man Schlüsse über die Wahrnehmung von Farbe, Form und Größe als Feature eines vorbeifahrenden Autos ziehen, jedoch ist noch nicht bekannt, ob die Geschwindigkeit des Autos vergleichbar gut und schnell wahrgenommen werden kann. Ein Modell der kognitiven Repräsentation von Geschwindigkeiten kann zudem in einer kognitiven Architektur implementiert werden, z.B. ACT-R. Bis heute fehlen dort Module, die spezifisch räumlich-dynamische Prozesse modellieren (Gunzelmann & Lyon, 2007).

## **2.8 Fragestellung**

Die vorliegende Studie wurde basierend auf einer von Dipl. Psych. David F. Kätner entwickelten Fragestellung und Versuchsaufbau durchgeführt. Objektfarbe stellt das am ausführlichsten untersuchte Feature dar (Luck & Vogel, 1997; Treisman, 1980 und 1986; Nagy, Sanchez, & Hughes, 1990; Smallman & Boynton, 1990). Weitere Objektmerkmale wie Größe oder Ausrichtung konnten ebenfalls als Feature identifiziert werden (Treisman, 1986). Diese Studien beziehen sich größtenteils auf die visuelle Wahrnehmung statischer Objekte.

Da die Welt, in der wir Menschen uns bewegen, dynamisch ist, ist es für das Verständnis unsere kognitiven Funktionen jedoch unerlässlich, zu untersuchen, wie sich die Wahrnehmung von Features gestaltet, wenn sich die Objekte bewegen. Laut der Feature Integration Theory müsste es bei einer Änderung des Orts zu einer Verlängerung der Reaktionszeit kommen, da eine Ortsveränderung eine ausführlichere kognitive Bearbeitung erfordert. Die Ortsveränderung sollte jedoch nicht zu einer schlechteren Performanz führen, d.h. die Signalstärke sollte gleich bleiben, da das Objekt mit seinen Features genau wie bei statischen Objekten in der Objektdatenbank gespeichert wird. Im Verarbeitungsablauf der Feature ändert sich also im Vergleich zwischen statischen und dynamischen Objekten nichts. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welchen Effekt Dynamik auf die Reaktionszeit und auf die Signalstärke einer mit Luck und Vogel (1997) vergleichbaren Aufgabenstellung hat. Es müsste hier fortlaufend zu einer Aktualisierung des Orts kommen, was die Reaktionszeit bei der Präsentation dynamischer Objekte verlängern müsste. Die Signalstärke sollte jedoch gleich bleiben.

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, lässt sich Bewegung oder Dynamik in verschiedene Aspekte unterteilen. Ein Aspekt der Dynamik, der bis heute noch nicht untersucht wurde, ist die Geschwindigkeit. Die vorliegende Studie untersucht die Frage, ob es einer separaten Repräsentationsform von Geschwindigkeiten bedarf, die sich beispielsweise aus der Veränderung der Größe eines Objekts ableitet oder ob Geschwindigkeit als eigenes Feature angesehen werden kann, das parallel und ohne Zuwendung von Aufmerksamkeit wahrgenommen werden kann. Um der Antwort dieser Frage näher zu kommen, wurde untersucht, ob die Wahrnehmbarkeit von Geschwindigkeitsveränderungen im Rahmen einer Change Detection Task vergleichbar ist mit der Wahrnehmbarkeit von Farbveränderungen. Das Experiment von Luck und Vogel (1997) zur Wahrnehmung von Farbveränderungen (Abbildung 7) sowie zur Wahrnehmung der Veränderung zweier Feature (vgl. Abbildung 8) wurde repliziert. Das zweite Feature war jedoch nicht wie bei Luck und Vogel die Form des Objekts, sondern die Geschwindigkeit des Objekts. Es wurde nicht nur der reine Anteil an korrekten Antworten bestimmt, sondern die Signalstärke anhand von  $d'$  berechnet. Entsprechend der Ergebnisse von Luck und Vogel müsste die Signalstärke mit steigender Objektanzahl abnehmen. Wenn Geschwindigkeit ein Feature darstellt, müssten die Signalstärken der Bedingungen zudem vergleichbar sein und keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Die gleichen Effekte müssten auch für die Reaktionszeiten beobachtbar sein.

## **2.9 Hypothesen**

Folgende Hypothesen wurden zur Beantwortung der Fragestellungen überprüft:

**Hypothese 1:** Die Signalstärke ( $d'$ ) nimmt mit steigender Objektanzahl ab.

**Hypothese 2:** Bei gleicher Objektanzahl sind die Signalstärken in dynamischen Bedingungen identisch mit den Signalstärken der statischen Bedingungen.

**Hypothese 3:** Die Reaktionszeit ist länger bei dynamischen Bedingungen als bei statischen Bedingungen.

**Hypothese 4:** Die Reaktionszeit nimmt mit steigender Objektanzahl zu.

**Hypothese 5:** „Bei gleicher Objektanzahl sind die Reaktionszeiten in Bedingungen mit Geschwindigkeitsveränderungen identisch zu den Reaktionszeiten der Bedingungen mit Farbveränderungen bei dynamischen Objekten.“



### 3 Methode

#### 3.1 Paradigma und Stimuli

Für das Experiment wurde die Sequential Comparison Procedure gewählt. Das Experiment wurde als Within-Subject-Design durchgeführt und so geplant, dass die Signal Detection Theory zur Analyse angewendet werden konnte. Es gab somit Bedingungen, in denen Sample und Test identisch waren sowie Bedingungen, in denen sie unterschiedlich waren. Die Aufgabe der Probanden war es, Sample und Test auf Gleichheit zu überprüfen. Dafür hatten sie die Antwortmöglichkeiten „Ja“ für „Sample und Test waren identisch“ und „Nein“ für „Sample und Test waren nicht identisch“. Als Objekte wurden wie bei Luck und Vogel (1997) Quadrate auf einem Computerbildschirm präsentiert. Die Objekte waren entweder statisch, bewegten sich also nicht, oder dynamisch, in welchen Fall die Objekte sich auf linearen Trajektorien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegten. Im Testbildschirm wurde im Falle einer nicht-Gleichheit jeweils entweder die Farbe, die Geschwindigkeit oder die Farbe und Geschwindigkeit eines Objekts verändert.

Der Ablauf des Experiments ist in Abbildung 9 veranschaulicht. Sample und Test wurden jeweils für 0.4 Sekunden mit einer Pause von 0.9 Sekunden präsentiert. Diese Präsentationszeiten wurden von Papenmeier, Huff, & Schwan (2012) übernommen. Nach dem Test hatten die Probanden maximal zwei Sekunden Zeit zu antworten. Nach diesen zwei Sekunden wurde automatisch das nächste Trial gestartet.

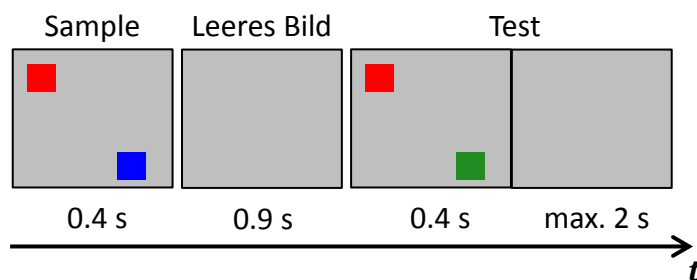


Abbildung 9: Versuchsparadigma

Die Positionen der Objekte wurden mithilfe von randomisiert erstellten Bildschirmkoordinaten gewählt. Die Größe der Objekte entsprach einem Sehwinkel (in Grad) von  $0.9^\circ \times 0.9^\circ$ . Die Objekte waren dabei immer mit einer minimalen Distanz von  $2.65^\circ$  angeordnet. Der Bereich, in dem Objekte auf dem Bildschirm angezeigt wurden, betrug  $23.31^\circ \times 23.31^\circ$ . Der Hintergrund war grau (RGB = (127, 127, 127)). Zur exakten Definition der Farben wurden Koordinaten im RGB-Farbraum verwendet. Es wurden dabei

Farben ausgewählt, die nach Wahrnehmung des Autors und nach den Urteilen von Probanden in Vorversuchen möglichst gut zu unterscheiden waren. Im folgenden Abschnitt werden die unabhängigen Variablen des Experiments im Detail erklärt.

### 3.2 Unabhängige Variablen

Die unabhängigen Variablen waren die Objektanzahl, die Feature-Veränderung, die Farben der Objekte, die Dynamik der Objekte sowie die Veränderung an sich. Dabei bezeichnet Feature-Veränderung was sich im jeweiligen Feature des Targets verändert hat, also Farbe oder Geschwindigkeit. Die unabhängige Variable Veränderung hingegen sagt aus, ob es in der jeweiligen Bedingung zu einer Veränderung eines Features kam oder nicht. In Tabelle 1 sind alle unabhängigen Variablen mit den jeweiligen Stufen dargestellt.

Tabelle 1: Unabhängige Variablen

Unabhängige Variable	Stufe
Objektfarben	gleichfarbig
	mehrfarbig
Dynamik	statisch
	dynamisch
Feature-Veränderung	Farbe
	Geschwindigkeit
	Farbe & Geschwindigkeit
Objektanzahl	2
	4
	6
	8
Veränderung	ja
	nein

#### 3.2.1 Objektfarben

Es gab zwei Stufen der Farbbedingung, entweder waren alle Quadrate in Test und Sample gleichfarbig oder sie hatten unterschiedliche Farben (Stufe mehrfarbig). Hatten die Objekte unterschiedliche Farben, wurde jedem Objekt auf dem Bildschirm per Ziehen ohne Zurücklegen eine der Farben Rot (RGB = (255-0-0)), Grün (RGB = (34-139-34)), Gelb (RGB = (255-255-0)), Blau (RGB = (0-0-255)), Braun (RGB = (139-69-19)), Weiß (RGB = (255-255-255)), Schwarz (RGB = (0-0-0)), Violett (RGB = (238-130-238)) oder Türkis (RGB = (64-224-208)) zugewiesen. Da maximal acht Objekte auf dem Bildschirm zu sehen waren, waren neun Farben notwendig. Damit war gewährleistet, dass sich bei einer Farbveränderung

zwischen Sample und Test keine Farbe doppelte. Waren die Objekte gleichfarbig, wurde ihnen allen die Farbe Schwarz ( $\text{RGB} = (255, 255, 255)$ ) zugeordnet.

### 3.2.2 Dynamik

Die Objekte waren entweder statisch oder dynamisch. Wenn die Objekte dynamisch waren, bewegten sie sich auf linearen Trajektorien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Keine der Geschwindigkeiten der Objekte wiederholte sich. Die Einheit der Geschwindigkeit wurde auf Sehwinkel in Grad pro Sekunde festgelegt. Jedem Objekt auf dem Bildschirm wurde aus einem Pool von acht vordefinierten Geschwindigkeiten eine Geschwindigkeit per Ziehen ohne Zurücklegen zugewiesen. Die Geschwindigkeiten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Geschwindigkeiten der Objekte

Nr.	Grad / s
1	6.04
2	6.59
3	7.13
4	7.67
5	8.21
6	8.75
7	9.29
8	9.82

Es gab acht verschiedene Bewegungsrichtungen, die den Objekten randomisiert zugeteilt wurden. Die Bewegungsrichtungen wurden so gewählt, dass eine Bewegung der Objekte über den Bildschirmrand hinaus ausgeschlossen war. Dafür wurden neun Bereiche auf dem Bildschirm definiert. Je nach dem, in welchem Bereich sich das Objekt anfänglich befand, wurden ihm nur bestimmte Bewegungsrichtungen zugeordnet (vgl. Abbildung 10).

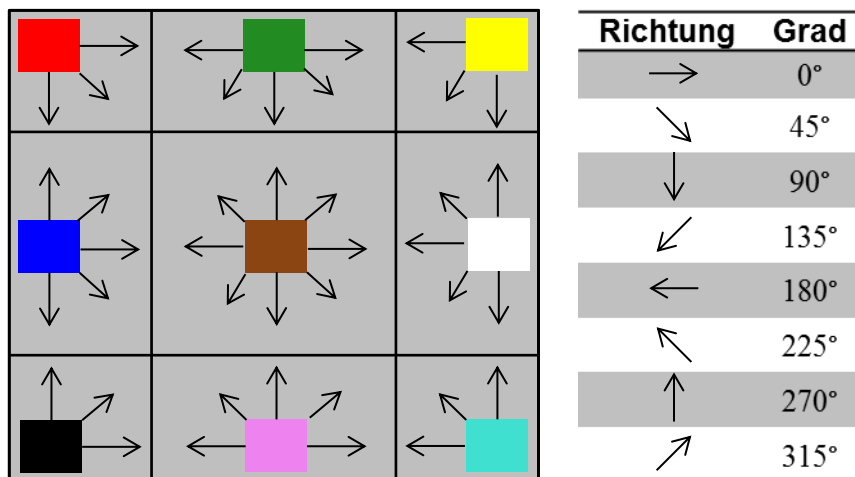


Abbildung 10: Bewegungsrichtungen

Die maximale Distanz, die ein dynamisches Objekt zurücklegen konnte, betrug  $8.66^\circ$ . Der mittlere Bereich in Abbildung 10 hatte eine Fläche von  $7.02^\circ \times 7.02^\circ$ , sodass Objekte, deren anfängliche Position in diesem Bereich lag, immer mindestens eine Distanz von  $8.75^\circ$  bis zum Ende des Anzeigebereichs hatten. Ihnen konnte somit eine beliebige Richtung zugeordnet werden. Die möglichen Bewegungsrichtungen von Objekten in den anderen Bereichen sind in Abbildung 10 dargestellt.

### 3.2.3 Feature-Veränderung

Sample und Test waren entweder identisch oder unterschiedlich. Wenn sie unterschiedlich waren, wurde entweder nur Farbe, nur Geschwindigkeit oder sowohl Farbe als auch Geschwindigkeit eines Objekts, des Targets, verändert.

Wurde die Farbe des Targets verändert, so nahm das Target eine der Farben an, die in Abschnitt 3.2.1 beschrieben wurden. Die Farbe des Targets doppelte sich niemals mit der Farbe eines anderen Objekts.

Veränderte das Target seine Geschwindigkeit, konnte es sich im Test entweder schneller oder langsamer bewegen als im Sample. Die Geschwindigkeit des Targets im Test wurde wie folgt festgelegt: Für jede der acht möglichen Ausgangsgeschwindigkeiten im Sample wurden jeweils zwei entsprechende Target-Geschwindigkeiten für den Test definiert. Die Geschwindigkeiten wurden entsprechend der Formeln 2 und 3 berechnet. Um positive und negative Geschwindigkeitsveränderungen möglichst vergleichbar zu machen, wurde das Verhältnis der Sample-Geschwindigkeit zur Test-Geschwindigkeit konstant gehalten. Tabelle 3 zeigt die Sample-Geschwindigkeiten und Test-Geschwindigkeiten.

$Geschwindigkeit_{Test, \text{ schneller}}$

$$= (Geschwindigkeit_{sample} \times 2) + (Geschwindigkeit_{sample} \times 0.2)$$

Formel 2: Berechnung der Geschwindigkeiten bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen

$Geschwindigkeit_{Test, \text{ langsamer}}$

$$= (Geschwindigkeit_{sample} \div 2) - (Geschwindigkeit_{sample} \times 0.2)$$

Formel 3: Berechnung der Geschwindigkeiten bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen

Tabelle 3: Target- Geschwindigkeiten in Grad/s

Nr.	Geschwindigkeit im Sample	Geschwindigkeit schneller	Geschwindigkeit langsamer
1	6.04	12.38	1.81
2	6.59	14.45	1.98
3	7.13	15.69	2.14
4	7.67	16.87	2.30
5	8.21	18.06	2.46
6	8.75	19.25	2.63
7	9.29	20.44	2.79
8	9.82	21.60	2.95

### 3.2.4 Objektanzahl

Auch die Objektanzahl wurde variiert. Auf dem Bildschirm waren entweder zwei, vier, sechs oder acht Objekte zu sehen.

### 3.2.5 Veränderung

Für jede Bedingung wurde eine analoge Bedingung präsentiert, bei der es zu keiner Veränderung kam. Dies geschah, um in der Analyse die Signalstärke  $d'$  für jede Bedingung berechnen zu können.

## 3.3 Bedingungen

Aus den im vorigen Abschnitt erläuterten unabhängigen Variablen wurden insgesamt 32 Bedingungen erstellt, die in Tabelle 4 veranschaulicht sind. Die unabhängige Variable Veränderung ist in der Tabelle nicht dargestellt.

Tabelle 4: Bedingungen

Nr.	Unabhängige Variablen					Sample	Test
	Farben	Dynamik	Feature-Veränderung	Anzahl			
1	mehrfarbig	statisch	Farbe	2			
2				4			
3				6			
4				8			
5	mehrfarbig	dynamisch	Farbe	2			
6				4			
7				6			
8				8			
9	gleichfarbig	dynamisch	Geschwindigkeit, schneller	2			
10				4			
11				6			
12				8			
13	gleichfarbig	dynamisch	Geschwindigkeit, langsamer	2			
14				4			
15				6			
16				8			
17	mehrfarbig	dynamisch	Geschwindigkeit, schneller	2			
18				4			
19				6			
20				8			
21	mehrfarbig	dynamisch	Geschwindigkeit, langsamer	2			
22				4			
23				6			
24				8			
25	mehrfarbig	dynamisch	Farbe und Geschwindigkeit, schneller	2			
26				4			
27				6			
28				8			
29	mehrfarbig	dynamisch	Farbe und Geschwindigkeit, langsamer	2			
30				4			
31				6			
32				8			

In Bedingungen 1 - 4 wurde das in Abschnitt 2.6.2 erwähnte Experiment von Luck und Vogel (1997) repliziert, es änderte sich lediglich die Farbe als ein Feature eines statischen Objekts. Diese Bedingungen stellen die Referenzbedingungen dar. Bedingungen 5 - 8 dienten der Untersuchung des Effektes der Objektdynamik. Die Bedingungen waren vergleichbar mit

denen in Bedingungen 1 - 4, d.h. es veränderte sich die Farbe eines Objekts. Der Unterschied bestand darin, dass die Objekte dynamisch waren, es kam also ein zusätzliches Feature hinzu. Die Dynamik ist in der Tabelle mit einem schwarzen Pfeil dargestellt, die Länge des Pfeils dient als Indikator für die Geschwindigkeit des jeweiligen Objekts.

In Bedingungen 9 - 16 hatten die Objekte die gleiche Farbe und es veränderte sich lediglich die Geschwindigkeit des Targets. Diese Bedingungen dienten als direkte Vergleichsbedingungen zu den Farbbedingungen 1 - 4. Das heißt, in Bedingungen 1 - 4 wurde die Geschwindigkeit konstant gehalten, in Bedingungen 9 - 16 hingegen die Farbe. In Bedingungen 9 - 12 war das Target im Test schneller als im Sample und in Bedingungen 13 - 16 war es langsamer.

Auch in den Bedingungen 17 - 24 veränderten die Objekte ihre Geschwindigkeit. Im Gegensatz zu Bedingungen 9 - 16 waren die Objekte hier jedoch mehrfarbig. Diese Bedingungen stellten also direkte Vergleichsbedingungen zu Bedingungen 5 - 8 (mehrfarbige, dynamische Objekte, Farbänderung) dar, mit dem Unterschied, dass hier nicht Farbe, sondern Geschwindigkeit das Feature war, das verändert wurde. In den Bedingungen 25 - 32 wurden sowohl Farbe als auch Geschwindigkeit verändert. Diese Bedingungen stellten das Experiment von Luck und Vogel (1997) nach, in dem jeweils zwei Feature verändert wurden. Hier wurde jedoch als zweites Feature nicht die Form, sondern die Geschwindigkeit als Feature herangezogen.

Jede der beschriebenen Bedingungen wurde viermal wiederholt. Außerdem wurde im Rahmen der unabhängigen Variable Veränderung für jede Bedingung eine vergleichbare Bedingung präsentiert, bei der es zu keiner Veränderung kam. Es gab somit insgesamt  $32 \times 4 \times 2 = 256$  Trials, die jeder Proband durchlief.

### **3.4 Randomisierung**

Die Zuordnung der Farben und Geschwindigkeiten sowie Bewegungsrichtungen erfolgte für jedes Objekt und jedes Trial randomisiert. Außerdem wurden für jeden Probanden 256 neue Trials erstellt, sodass jedem Probanden unterschiedliche Trials präsentiert wurden. Die Reihenfolge der Bedingungen wurde ebenfalls für jeden Probanden randomisiert. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um eventuelle Effekte einer bestimmten Konstellation von Farben, Geschwindigkeiten, Bewegungsrichtungen oder Präsentationsreihenfolgen zu kontrollieren.

### **3.5 Abhängige Variablen**

Die abhängigen Variablen waren die Signalstärke  $d'$  sowie die Reaktionszeit bei der Antwort auf den Test-Bildschirm für richtige sowie falsche Antworten.  $d'$  wurde für jede der in Tabelle 4 beschriebenen Bedingungen berechnet. Da es insgesamt acht Trials für jede Bedingung gab, wurden die Reaktionszeiten für die Bedingungen über die Trials gemittelt. Als Reaktionszeit wurde die Zeit definiert, die der Proband ab der Präsentation des Test-Bildschirms bis zur Antwort benötigte. Die Zeit wurde jedoch auf maximal zwei Sekunden nach Ende der Präsentation des Test-Bildschirms begrenzt. Antwortete der Proband nicht innerhalb dieses Zeitrahmens, wurde die Antwort als falsch gewertet.

### **3.6 Kontrollvariablen**

Es wurden diverse Variablen zur Kontrolle erhoben. Diese waren relevante demographische Daten der Probanden, das Konzentrationsvermögen sowie die natürliche Reaktionszeit und die Blickbewegungen während des Versuchs. Auf jede der Variablen wird im Folgenden eingegangen.

#### **3.6.1 Demographische Daten**

Erfasste demographische Daten waren Alter, Geschlecht und das Vorhandensein einer Sehhilfe zum Zeitpunkt des Versuchs. Mögliche Ausprägungen der Variable Sehhilfe waren „keine Sehhilfe“, „Brille“ und „Kontaktlinsen“.

#### **3.6.2 Konzentrationsvermögen und natürliche Reaktionszeit**

Das Konzentrationsvermögen sowie die natürliche Reaktionszeit der Versuchspersonen wurden mithilfe eines computerbasierten Konzentrationstests erhoben. Natürliche Reaktionszeit wird definiert als die Zeit, die eine Person braucht, um als Reaktion ihre Entscheidung (z.B. „Ja, die Bilder sind gleich.“ oder „Nein, die Bilder sind unterschiedlich.“) über einen Tastendruck zu kommunizieren. Die Variablen wurden erfasst, um eventuelle Ausreißer in den Daten erklären zu können.

Der Konzentrationstest wurde in Anlehnung an den D2-Konzentrationstest durchgeführt. Den Probanden wurden im Abstand von 0.5 Sekunden auf dem Bildschirm Buchstaben für jeweils eine Sekunde präsentiert. Die Aufgabe war es zu entscheiden, ob der Buchstabe ein „d“ mit zwei Strichen war oder nicht. Es wurden sowohl Target Stimuli (siehe Abbildung 11) als auch Distraktoren präsentiert. Distraktoren waren ein „d“ mit einem, drei oder vier Strichen, sowie ein „p“ mit keinem, einem, zwei, drei oder vier Strichen. Zum Antworten stand den Versuchspersonen eine Tastatur zur Verfügung. Auf die Y-Taste wurde



ein Aufkleber mit der Aufschrift „Nein“ geklebt. Auf die Taste für die Zahl 3 im Nummernblock wurde ein Aufkleber mit der Aufschrift „Ja“ geklebt. Waren die Versuchspersonen der Meinung, das Objekt stelle einen Target-Stimulus dar, sollten sie die Taste mit „Ja“ drücken. Waren sie der Meinung, das Objekt sei eines der Distraktoren, sollten sie „Nein“ drücken. Es gab insgesamt 94 Stimuli, von denen 42 ein Target darstellten. Vor dem eigentlichen Test wurde ein Trainingsdurchgang mit 20 Stimuli absolviert, von denen 10 ein Target darstellten. Als Indikator für das Konzentrationsvermögen wurde für jeden Probanden ein  $d'$  berechnet. Die mittlere Reaktionszeit wurde als Indikator für die natürliche Reaktionszeit herangezogen.

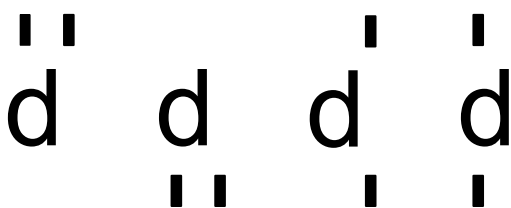


Abbildung 11: Target-Stimuli des Konzentrationstests

### 3.6.3 Blickverhalten

Damit jede Versuchsperson die gleichen Voraussetzungen für das Erfüllen der Aufgabe hatte, wurde den Probanden vor jedem Trial für drei Sekunden ein Bild mit einem weißen Fixationskreuz gezeigt (siehe Abbildung 12). Die Instruktion lautete, den Blick auf das Kreuz zu richten.



Abbildung 12: Fixationskreuz

Die Probanden wurden instruiert, während des gesamten Trials ihren Blick auf den Punkt zu richten, an dem das Fixationskreuz die ersten drei Sekunden zu sehen war. Um zu kontrollieren, dass dies tatsächlich geschah, wurde das Blickverhalten der Probanden erfasst. Es wurde um den Punkt, an dem sich das Fixationskreuz befand, ein Bereich mit einem Durchmesser von  $6.5^\circ$  definiert, die Area of Interest. Der Wert von  $6.5^\circ$  wurde auf der Grundlage des parafovealen Bereichs des Auges festgelegt, der  $5^\circ$  beträgt. Hinzugerechnet wurde der durchschnittliche Fehler des Blickerfassungssystems, der  $1.5^\circ$  betrug. Alle Blicke,

die in diesen Bereich fielen, wurden als auf die Mitte gerichtete Blicke erfasst und als solche im Datensatz gekennzeichnet. Abbildung 13 veranschaulicht den Bereich, der als AOI (Area of interest) definiert war.

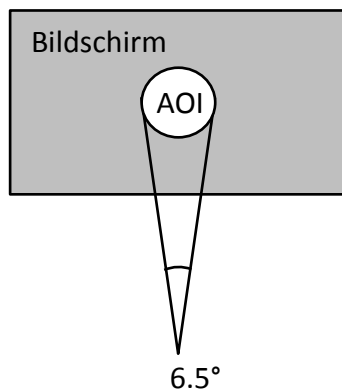


Abbildung 13: Blickerfassung

### 3.7 Ablauf eines Trials

Der Ablauf eines kompletten Trials ist in Abbildung 15 veranschaulicht. Wie schon in Abschnitt 3.6.3 beschrieben, begann jedes Trial mit der Präsentation eines weißen Fixationskreuzes für insgesamt drei Sekunden. Danach folgte ein leeres Bild für einen Zeitraum von 0.1 Sekunden. Dies geschah, um den Übergang zwischen Fixationskreuz und Sample nicht zu abrupt zu gestalten. Hierbei wurde sich an dem Vorgehen von Papenmeier, Huff und Schwan (2012) orientiert. Nach dem leeren Bild folgte die Präsentation des Samples und des Tests, wie schon in Abschnitt 3.1 beschrieben. Nach dem Test folgte ein weiteres leeres Bild für zwei Sekunden, wonach das nächste Trial gestartet wurde. Es wurden insgesamt 256 Trials präsentiert. In einem Abstand von jeweils 16 Trials erschien ein Bild mit der Aufschrift „PAUSE“ (siehe Abbildung 14). Durch das Drücken der Leertaste wurde die Präsentation des Pausenbildschirms beendet und das nächste Trial gestartet.

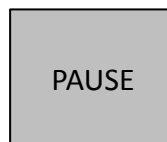


Abbildung 14: Kennzeichen für eine Pause

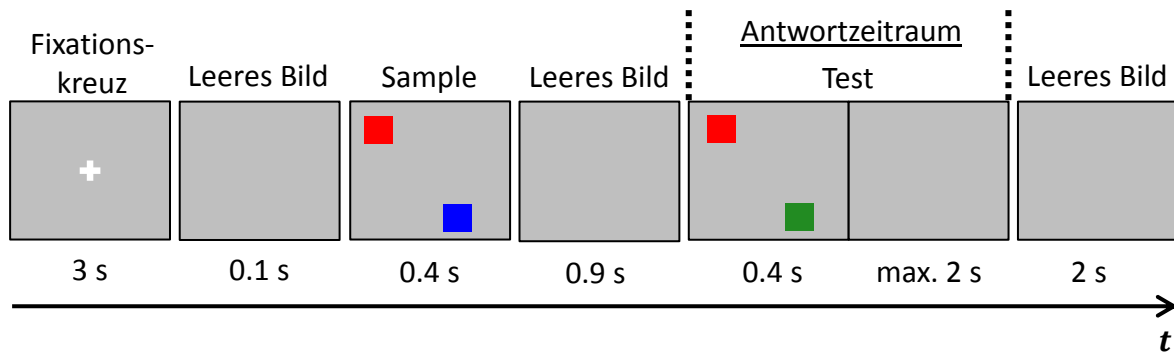


Abbildung 15: Ablauf eines Trials

### 3.8 Training

Um die Versuchspersonen an das Paradigma zu gewöhnen, durchlief jede Versuchsperson vor dem eigentlichen Experiment ein Training. Das Training umfasste insgesamt 64 Trials. Es wurde jede Bedingung inklusive der Bedingung ohne Veränderung präsentiert. Nach dem Training wurde überprüft, wie viele korrekte Antworten die Versuchsperson gegeben hatte. War die Rate an korrekten Antworten unter 50%, wurde das Training wiederholt.

### 3.9 Versuchsaufbau

Die Trials wurden auf einem 24-Zoll Computerbildschirm bei einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixeln präsentiert. Der Bildschirm wurde auf einem höhenverstellbaren Tisch mit 65 cm Abstand zur Tischkante positioniert. An der Tischkante wurde eine Kinnstütze befestigt. Der Proband saß auf einem Stuhl vor dem Tisch und legte seinen Kopf in die Kinnstütze. Vor der Kinnstütze wurde ein Eingabepanel mit einer blauen Taste für „Ja“ und einer roten Taste für „Nein“ auf dem Tisch positioniert. Da der Tisch höhenverstellbar war, konnten die Probanden den Tisch auf eine für sie angenehme Höhe positionieren. Der Versuchsleiter saß an einem Tisch rechts neben dem Probanden und bediente von seinem Platz aus über einen Computer das Versuchsprogramm. Versuchsleiter und Proband konnten sich während des Versuchs nicht ins Gesicht schauen, da der Computerbildschirm des Versuchsleiters die Sicht versperrte. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen den Versuchsaufbau.

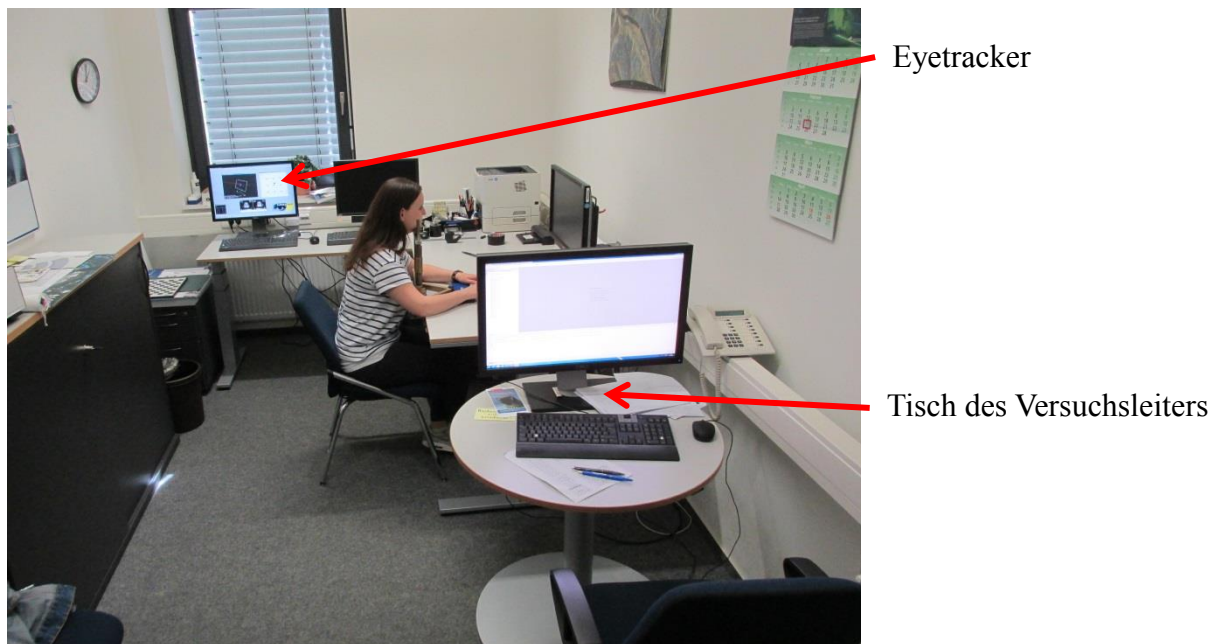


Abbildung 16: Versuchsaufbau 1

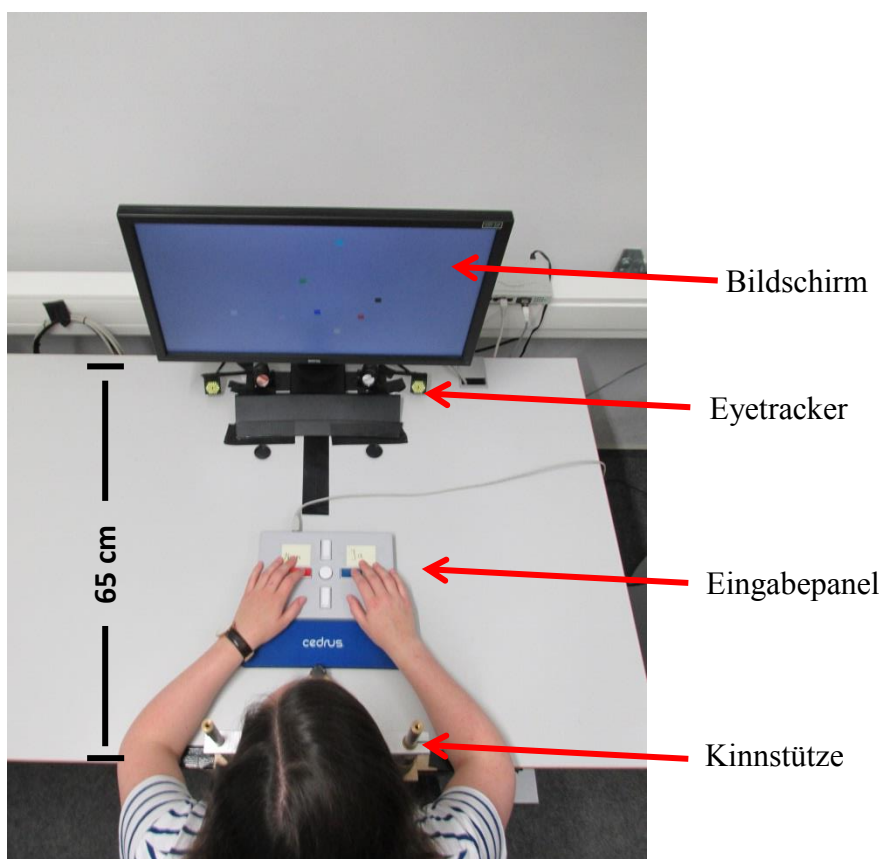


Abbildung 17: Versuchsaufbau 2

### **3.10 Versuchsmaterial**

Die Experimentalsoftware wurde mit der Programmiersprache Python (Version 2.7.3) mithilfe der Library PsychoPy (Version 1.80.03) unter dem Betriebssystem Microsoft Windows 7 erstellt. Die Bedienung des Programms erfolgte über eine selbst programmierte Benutzeroberfläche ebenfalls unter Windows 7. Der Experimentalbildschirm war ein BenQ XL2420T. Das Eingabepanel war das Modell RB-540 vom Hersteller Cedrus. Zur Blickerfassung wurde das remote Eyetracking System Smarteye (Modell Smart Eye Pro 6.0 120Hz) mit zwei Kameras verwendet. Das Programm, welches zur Erfassung des Konzentrationsvermögens sowie der natürlichen Reaktionsgeschwindigkeit genutzt wurde, war eine in der Abteilung für Ingenieur- und Verkehrspsychologie des Instituts für Psychologie der Technischen Universität Braunschweig in Java programmierte Software. Die Kinnstütze stammte ebenfalls aus der gleichen Abteilung.

### **3.11 Versuchsablauf**

Zu Beginn des Versuchs erhielt jede Versuchsperson eine Einwilligungserklärung sowie ein Informationsblatt mit allgemeinen Informationen über den Versuch. Nachdem die Einwilligungserklärung unterzeichnet sowie das Informationsblatt gelesen war, führten die Versuchspersonen den Konzentrationstest am Computer durch. Danach wurden vom Versuchsleiter mithilfe einer Powerpoint-Präsentation (siehe Anhang A) Instruktionen zum Versuch gegeben. Zunächst durchlief jede Versuchsperson das Training, wonach das Blickerfassungssystem kalibriert wurde. Zu Beginn des eigentlichen Experiments wurden die demographischen Daten erhoben. Nach jeweils 16 Trials hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, eine Pause zu machen. Wenn sie eine Pause wünschten, signalisierten sie dies dem Versuchsleiter zu dem Zeitpunkt, an dem das Wort „Pause“ auf dem Bildschirm erschien, andernfalls ließ der Versuchsleiter das Experiment weiterlaufen, indem er die Leertaste betätigte. Während einer Pause hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit aufzustehen. Da man mit dem Blickerfassungssystem ein Profil der Person anlegen konnte, musste die Versuchsperson danach nicht neu kalibriert werden. Nachdem das Experiment vorüber war, wurde den Teilnehmern eine Vergütung von 15 Euro ausgezahlt und sie wurden verabschiedet.

### **3.12 Stichprobe**

Die Stichprobe bestand aus 22 Versuchspersonen, wovon 12 weiblichen und 10 männlichen Geschlechts waren. Die Probanden waren zwischen 19 und 69 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 37.95 Jahren ( $SD = 15.94$ ). Um eine möglichst repräsentative

Stichprobe zu erhalten, wurden zwei Alterskategorien definiert und darauf geachtet, dass genauso viele Männer wie auch Frauen in die jeweiligen Kategorien fielen. In der ersten Kategorie wurden die unter 40-Jährigen zusammengefasst, wobei sieben Frauen und fünf Männer dieser Gruppe zuzuordnen waren. Die zweite Kategorie umfasste die über 40-Jährigen, wobei fünf der Probanden weiblich und fünf männlich waren. Die Versuchspersonen stammten aus einem DLR-internen Probandenpool und wurden per E-Mail oder Anruf akquiriert. In Tabelle 5 sind die Kennwerte für die Altersverteilung getrennt nach Geschlecht zu finden.

13 Personen trugen eine Brille, drei hatten Kontaktlinsen und sechs benötigten keine Sehhilfe. Von den Brillenträgern hatten drei Personen ihre Brille beim Versuch nicht auf, da sie nach eigener Aussage den Bildschirm und die Objekte gut erkennen konnten. Von den Kontaktlinsenträgern trugen alle auch während des Versuchs Kontaktlinsen.

Tabelle 5: Stichprobenbeschreibung

	Weiblich	Männlich	Beide
<i>n</i>	12	10	22
$\bar{x}_{Alter}$	36.58	39.6	37.95
$SD_{Alter}$	14.45	18.23	15.94

## 4 Ergebnisse

Für die Analyse wurde aus den Trials jeder Bedingung die Signalstärke  $d'$  berechnet. Die Reaktionszeit wurde über alle Trials einer Bedingung gemittelt. Zudem wurden alle Trials, in denen fehlende Werte vorhanden waren, aus der Analyse ausgeschlossen. Es gab insgesamt 14 Trials mit fehlenden Werten. Dies verkleinerte den Datensatz von 5632 auf 5618 Fälle. Durch das Zusammenfassen der Trials zu den jeweiligen Bedingungen verkleinerte sich dieser Datensatz auf 704 Fälle ( $22 \text{ Probanden} \times 32 \text{ Bedingungen} = 704 \text{ Fälle}$ ). Zur Analyse wurde das Statistikprogramm R mit den Packages „boot“ (Canty & Ripley, 2015), „car“ (Fox & Weisberg, 2011), „ez“ (Lawrence, 2013), „ggplot2“ (Wickham, 2009), „Hmisc“ (Harrell, 2015), „pastecs“ (Grosjean, Ibanez, & Etienne, 2014), „pgirmess“ (Giraudoux, 2015), „plyr“ (Wickham, 2011) und „reshape2“ (Wickham, 2007) verwendet.

Zunächst werden die Ergebnisse der Kontrollvariablen berichtet. Danach werden die Daten der Experimentalbedingungen deskriptiv dargestellt. In Abschnitt 4.4 werden die Ergebnisse zur Überprüfung der Hypothesen berichtet.

## **4.1 Kontrollvariablen**

### **4.1.1 Blickdaten**

Die Blickdaten wurden nur für die relevanten Zeiträume, das heißt von der Präsentation des Fixationskreuzes bis zur Antwort des Probanden, ausgewertet. Der Anteil an validen Blickdaten betrug über alle Probanden gemittelt 89.43%. Im Mittel fielen 82.18% der Blicke auf das AOI in der Mitte des Bildschirms.

Zur weiteren Auswertung wurde der Anteil der Blicke (in Prozent), der auf das AOI fielen für die 8 Trials jeder Bedingung gemittelt. Dieser gemittelte Anteil an Blicken wurde mit der Signalstärke korreliert, um zu überprüfen, ob eine Abwendung des Blicks von der AOI einen Effekt auf die Signalstärke hatte. Die Daten wurden mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Es konnte keine Normalverteilung gezeigt werden (Blickdaten:  $W = 0.76$ ,  $p < .001$ , Signalstärke:  $W = 0.87$ ,  $p = .008$ ), es wurde daher eine Spearman-Rangkorrelation berechnet. Die Korrelation wurde nicht signifikant mit  $r(702) = .01$ ,  $p = .741$ . In Anhang B sind die Anteile der validen Blickdaten sowie die Anteile der Blicke auf das AOI für alle Probanden zu finden.

### **4.1.2 Konzentrationsvermögen und natürliche Reaktionszeit**

Um den Einfluss des Konzentrationsvermögens auf die Performanz im Experiment zu überprüfen wurde eine Korrelation zwischen der Signalstärke aus dem des Konzentrationstest sowie der mittleren Signalstärke jedes Probanden berechnet. Auch hier wurde die Spearman-Rangkorrelation verwendet, da die Daten des Konzentrationsvermögens nach dem Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung aufwiesen (Signalstärke (d2):  $W = 0.89$ ,  $p = .021$ , Signalstärke (Experiment):  $W = 0.94$ ,  $p = .231$ ). Die Korrelation wurde nicht signifikant mit  $r(20) = .23$ ,  $p = .305$ .

Das Vorgehen in Bezug auf die natürliche Reaktionszeit war identisch zu dem des Konzentrationsvermögens. Hier wurde die mittlere Reaktionszeit der Trials im Konzentrationstest mit der mittleren Reaktionszeit der Trials im Experiment korreliert. Für diese Daten konnte der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet werden, da die Daten eine Normalverteilung aufwiesen (Reaktionszeit (d2):  $W = 0.96$ ,  $p = .511$ , Reaktionszeit (Experiment):  $W = 0.96$ ,  $p = .533$ ). Auch hier zeigte sich keine signifikante Korrelation:  $r(20) = .22$ ,  $p = .329$ . Die Werte für die Signalstärken sowie die Reaktionszeit für alle Probanden sind in Anhang C zu finden.

## 4.2 Deskriptive Statistiken für die Signalstärke $d'$

Die deskriptiven Daten der Signalstärke  $d'$  werden in den folgenden Abschnitten getrennt nach der jeweiligen Veränderungsstufe dargestellt. Eine Geschwindigkeitsveränderung ist jeweils mit einem „+“ oder einem „-“, gekennzeichnet, um eine Geschwindigkeitserhöhung oder -verlangsamung zu indizieren.

### 4.2.1 Farbe (statisch)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 1 - 4 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 6 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Wie zu erkennen ist, weist lediglich die Bedingung mit acht Objekten normalverteilte Daten auf. In Abbildung 18 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 6: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Farbe (statisch)*

Objektanzahl	$n$	$M$	$Md$	$SD$	$Min$	$Max$	Shapiro-Wilk	
							$W$	$p$
2	22	2.36	2.56	0.42	1.05	2.56	0.56	<.001
4	22	1.94	1.81	0.63	0.52	2.56	0.84	.002
6	22	1.10	1.28	0.77	0.00	2.56	0.90	.027
8	22	0.70	0.76	0.85	-0.96	1.81	0.93	.125

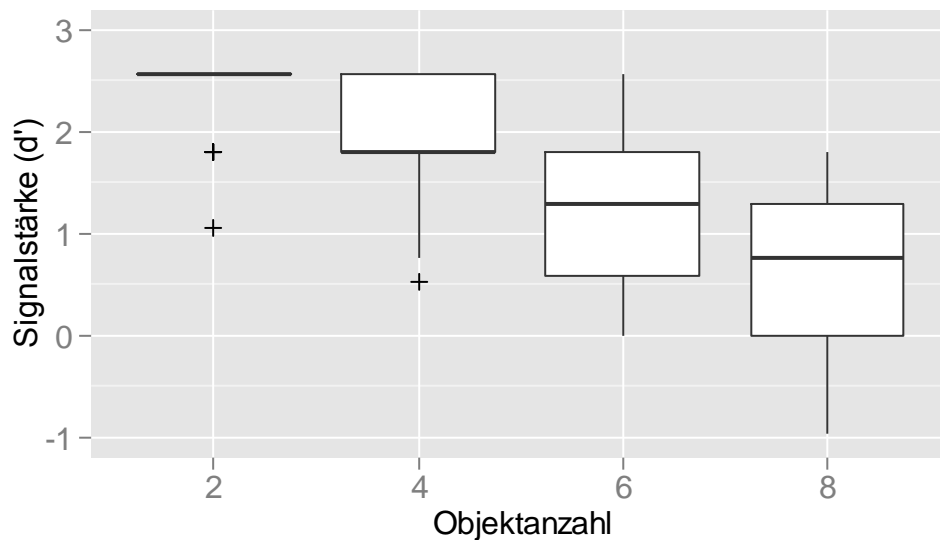


Abbildung 18: Boxplots für *Farbe (statisch)*



#### 4.2.2 Farbe (dynamisch)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 5 - 8 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 7 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Wie zu erkennen ist, weist lediglich die Bedingung mit sechs Objekten normalverteilte Daten auf. In Abbildung 19 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 7: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Farbe (dynamisch)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	2.33	2.56	0.40	1.28	2.56	0.61	<.001
4	22	1.73	1.81	0.64	0.52	2.56	0.9	.034
6	22	1.30	1.28	0.76	0.00	2.56	0.93	.120
8	22	0.92	0.76	0.66	0.00	1.81	0.86	.006

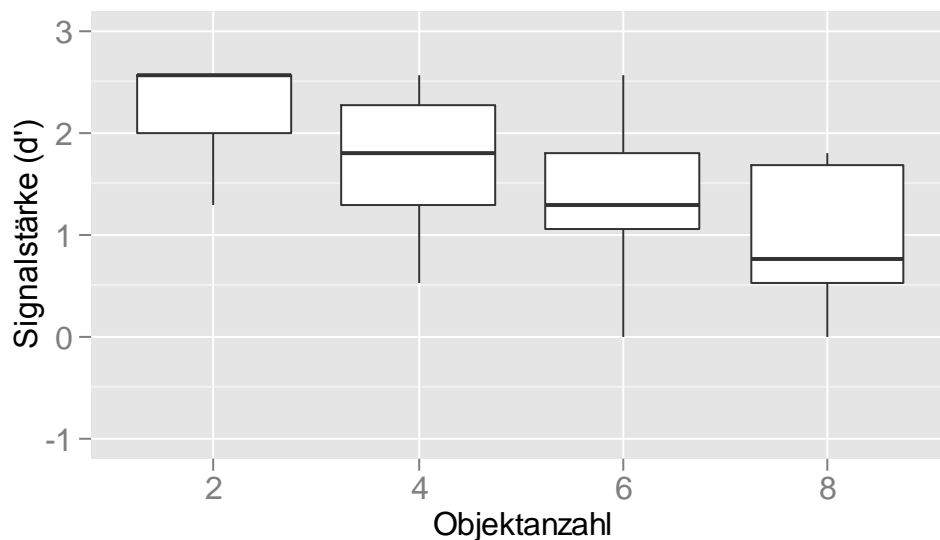


Abbildung 19: Boxplots der Signalstärke für *Farbe (dynamisch)*

#### 4.2.3 Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 9 - 12 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 8 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingungen mit sechs und acht Objekten weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 20 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 8: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	2.22	2.56	0.67	0.00	2.56	0.59	<.001
4	22	1.80	1.81	0.66	0.00	2.56	0.86	.007
6	22	1.44	1.81	0.92	-0.52	2.56	0.91	.057
8	22	1.45	1.54	0.69	0.00	2.56	0.93	.134

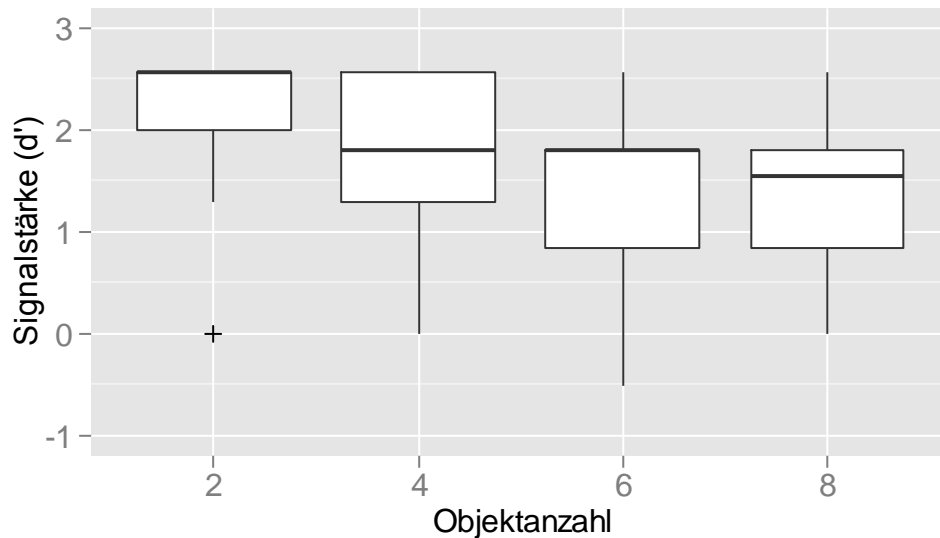


Abbildung 20: Boxplots der Signalstärke für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*

#### 4.2.4 Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 13 - 16 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 9 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingungen mit vier und sechs Objekten weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 21 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 9: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	1.79	1.81	0.79	0.00	2.56	0.86	.006
4	22	0.83	0.76	0.80	-0.76	2.56	0.95	.317
6	22	0.63	0.76	0.76	-0.76	1.81	0.92	.077
8	22	0.30	0.00	0.62	-0.52	2.56	0.67	<.001

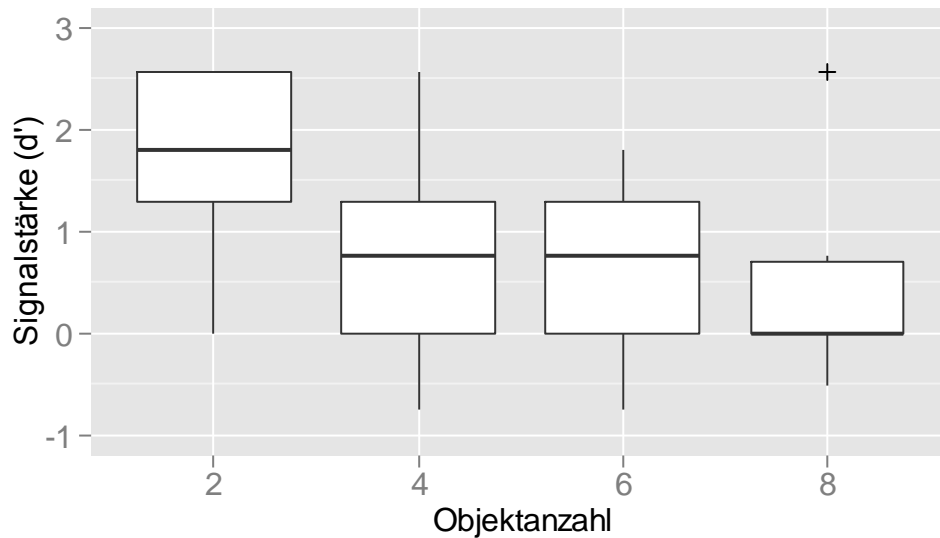


Abbildung 21: Boxplots der Signalstärke für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*

#### 4.2.5 Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 17 - 20 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 10 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingung mit zwei Objekten weist als einzige keine normalverteilten Daten auf. In Abbildung 22 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 10: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	1.88	1.81	0.71	0.00	2.56	0.84	.002
4	22	1.46	1.28	0.80	0.00	2.56	0.92	.075
6	22	0.90	0.90	0.72	0.00	2.43	0.93	.087
8	22	1.07	1.02	0.89	-0.52	2.56	0.95	.306

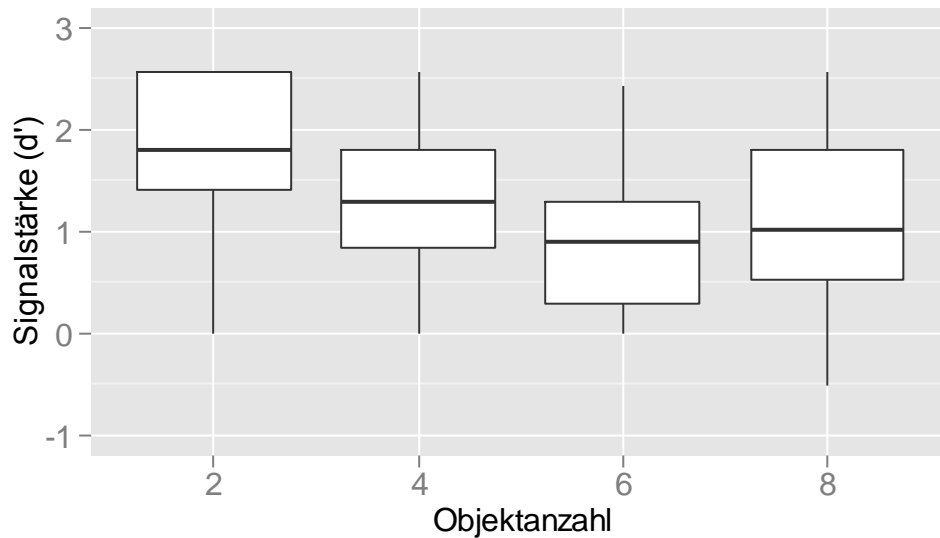


Abbildung 22: Boxplots der Signalstärke für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*

#### 4.2.6 Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 21 - 24 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 11 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Keine der Bedingungen weist normalverteilte Daten auf. In Abbildung 23 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 11: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	1.80	1.81	0.76	0.00	2.56	0.85	.004
4	22	0.68	0.76	0.62	0.00	1.81	0.87	.009
6	22	0.46	0.26	0.69	-0.76	2.56	0.85	.004
8	22	0.40	0.26	0.57	-0.76	1.81	0.89	.024

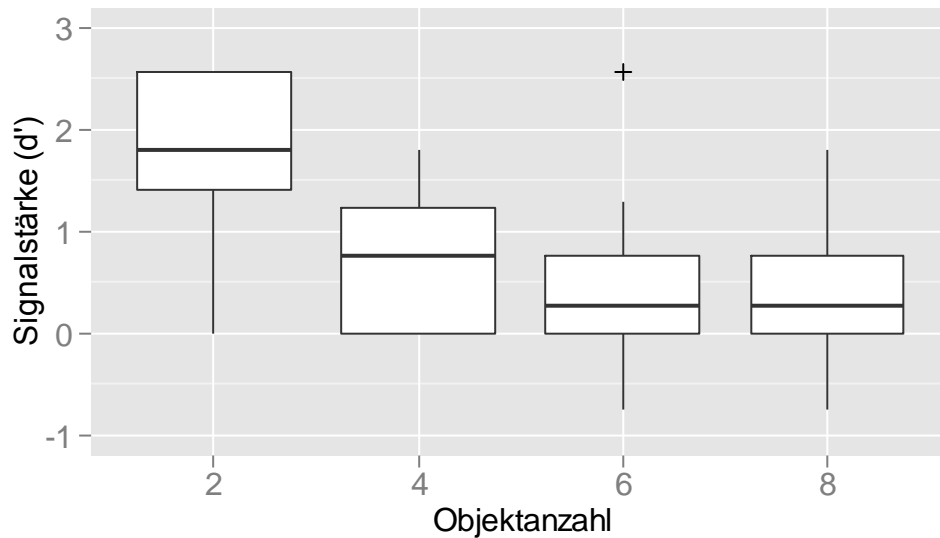


Abbildung 23: Boxplots der Signalstärke für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*

#### 4.2.7 Farbe & Geschwindigkeit (+)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 25 - 28 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 12 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingungen mit sechs und acht Objekten weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 24 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 12: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Farbe & Geschwindigkeit (+)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	2.33	2.56	0.46	1.05	2.56	0.56	<.001
4	22	1.99	2.56	0.82	-0.76	2.56	0.72	<.001
6	22	1.40	1.28	0.68	0.00	2.56	0.94	.207
8	22	1.37	1.54	0.71	0.00	2.56	0.91	.057

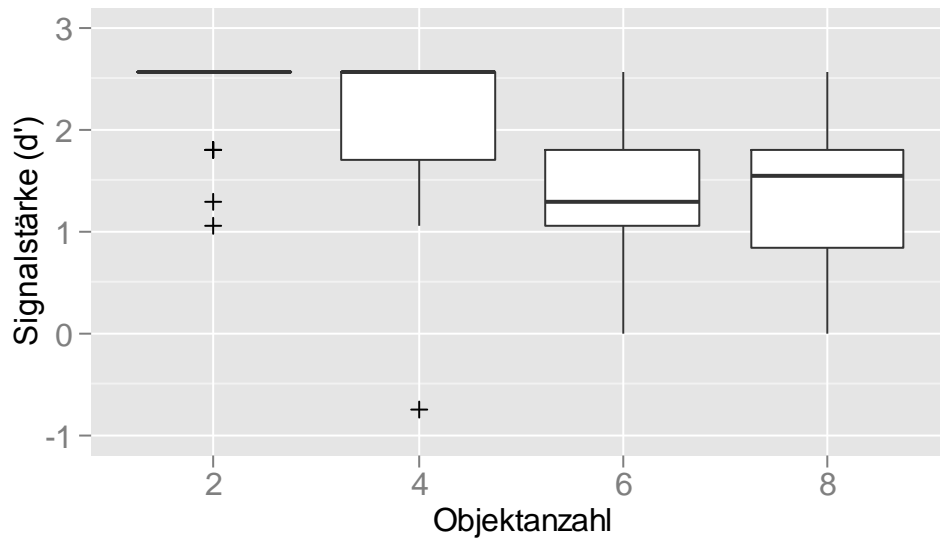


Abbildung 24: Boxplots der Signalstärke für *Farbe & Geschwindigkeit (+)*

#### 4.2.8 Farbe & Geschwindigkeit (-)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Signalstärke der Bedingungen 29 - 32 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 13 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingungen mit sechs und acht Objekten weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 25 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 13: Deskriptive Statistiken der Signalstärke für *Farbe & Geschwindigkeit (-)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	2.36	2.56	0.35	1.81	2.56	0.56	<.001
4	22	1.84	1.81	0.57	1.05	2.56	0.83	.002
6	22	1.51	1.81	0.66	0.00	2.56	0.92	.080
8	22	1.18	1.17	0.55	0.00	2.56	0.94	.218

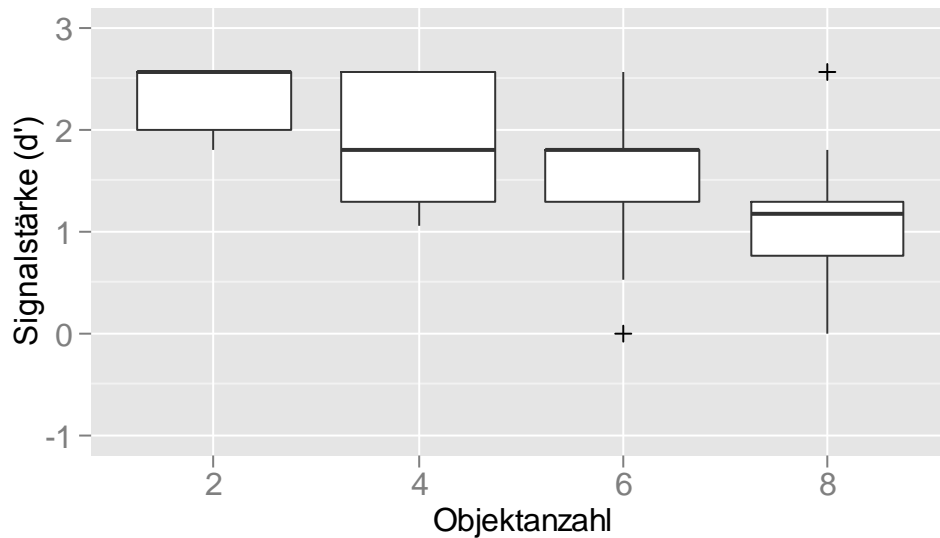


Abbildung 25: Boxplots der Signalstärke für *Farbe & Geschwindigkeit (-)*

### 4.3 Deskriptive Statistiken für die Reaktionszeit

Die deskriptiven Daten der Reaktionszeit werden in den folgenden Abschnitten getrennt nach der jeweiligen Veränderungsstufe dargestellt.

#### 4.3.1 Farbe (statisch)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 1 - 4 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 14 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Wie zu erkennen ist, weist lediglich die Bedingung mit sechs Objekten keine normalverteilten Daten auf. In Abbildung 26 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 14: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Farbe (statisch)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.79	0.81	0.15	0.54	1.05	0.86	.689
4	22	0.82	0.83	0.15	0.57	1.12	0.92	.749
6	22	0.88	0.84	0.18	0.66	1.30	1	.042
8	22	0.90	0.90	0.18	0.57	1.28	1.02	.987

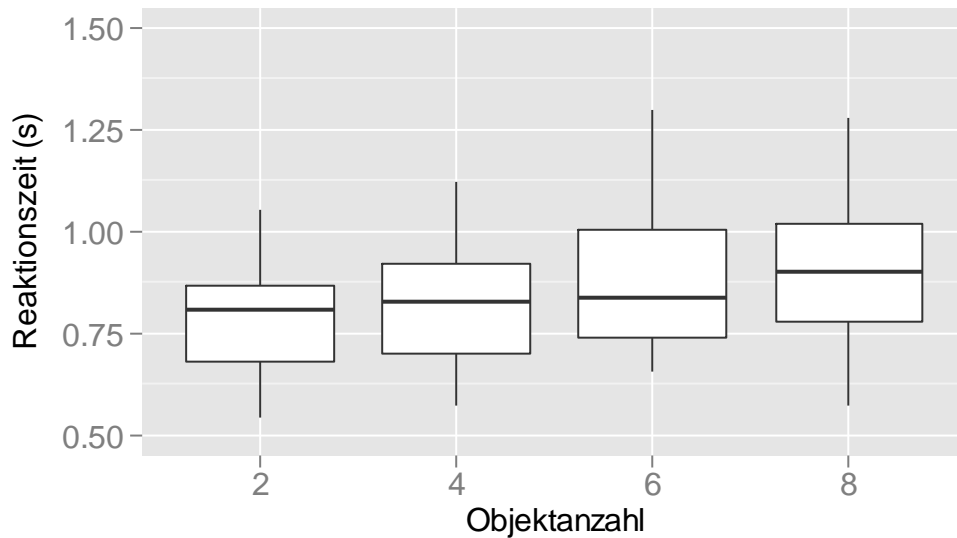


Abbildung 26: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Farbe (statisch)*

#### 4.3.2 Farbe (dynamisch)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 5 - 8 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 15 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 27 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 15: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Farbe (dynamisch)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.81	0.83	0.12	0.57	1.05	0.88	.240
4	22	0.88	0.84	0.15	0.62	1.20	1	.417
6	22	0.91	0.93	0.15	0.68	1.13	1.05	.092
8	22	0.96	0.90	0.18	0.70	1.30	1.09	.068



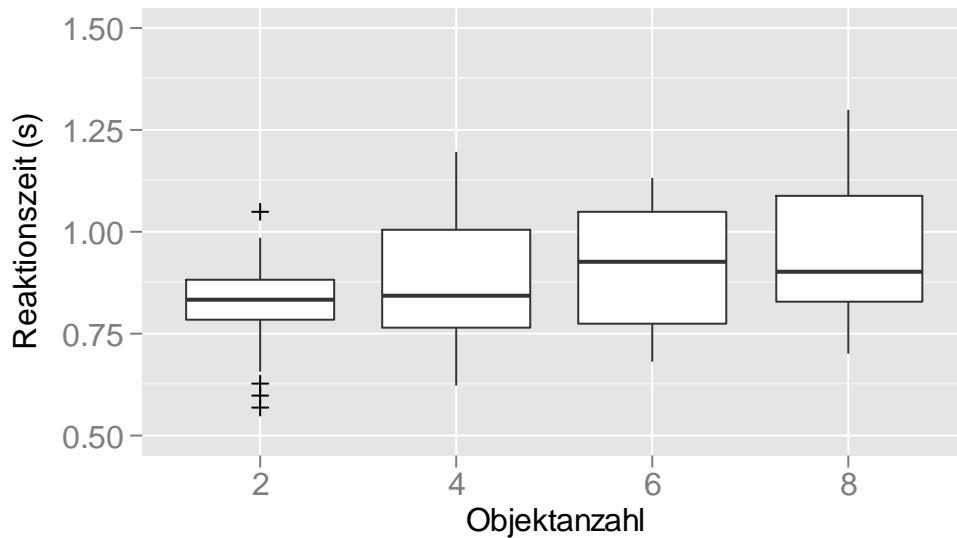


Abbildung 27: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Farbe (dynamisch)*

#### 4.3.3 Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 9 - 12 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 16 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 28 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 16: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.85	0.84	0.13	0.64	1.14	0.92	.811
4	22	0.89	0.90	0.13	0.64	1.10	0.96	.405
6	22	0.91	0.94	0.16	0.63	1.25	1	.400
8	22	0.93	0.95	0.18	0.65	1.29	1.07	.554

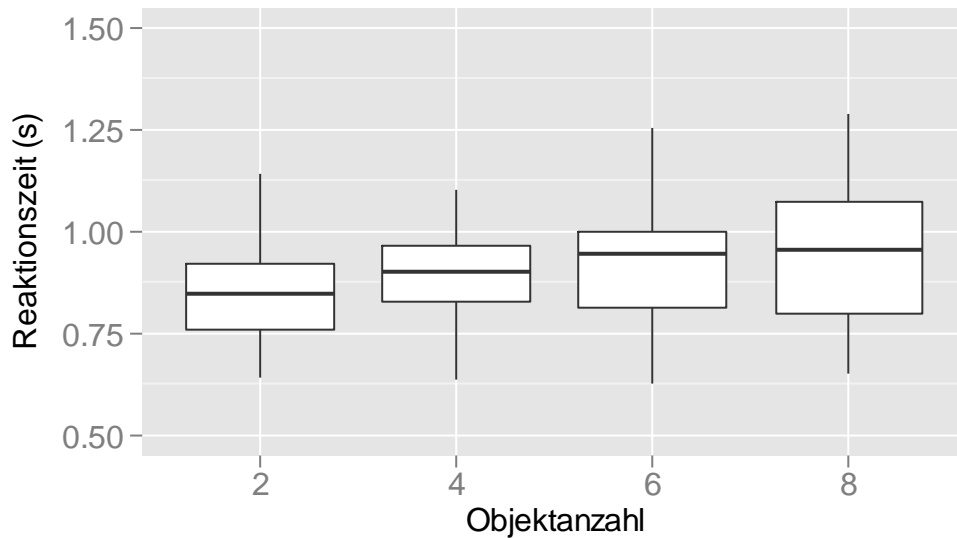


Abbildung 28: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*

#### 4.3.4 Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 13 - 16 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 17 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 29 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 17: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<u>Shapiro-Wilk</u>	
2	22	0.91	0.90	0.14	0.69	1.19	0.99	.638
4	22	0.93	0.94	0.15	0.67	1.19	1.03	.516
6	22	0.94	0.94	0.18	0.64	1.43	1	.278
8	22	0.92	0.91	0.17	0.67	1.29	0.95	.089

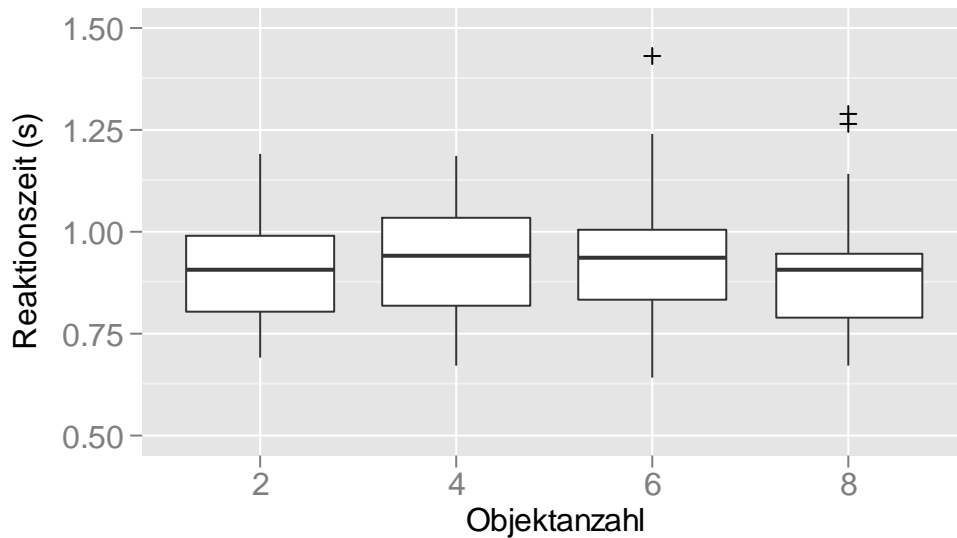


Abbildung 29: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*

#### 4.3.5 Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 17 - 20 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 18 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 30 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 18: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.88	0.88	0.14	0.62	1.16	0.98	.939
4	22	0.91	0.92	0.13	0.69	1.17	0.99	.386
6	22	0.95	0.94	0.15	0.73	1.30	1.03	.201
8	22	0.95	0.95	0.15	0.64	1.17	1.1	.322

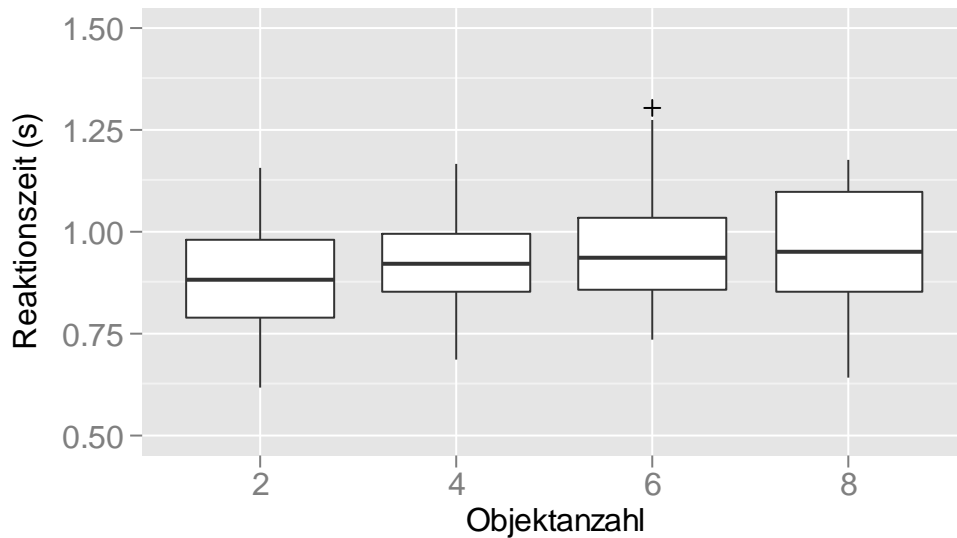


Abbildung 30: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*

#### 4.3.6 Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 21 - 24 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 19 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 31 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 19: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.93	0.91	0.14	0.72	1.26	1.01	.424
4	22	0.97	1.03	0.18	0.68	1.24	1.1	.077
6	22	0.96	0.92	0.18	0.67	1.34	1.1	.315
8	22	0.99	1.02	0.19	0.71	1.33	1.1	.215

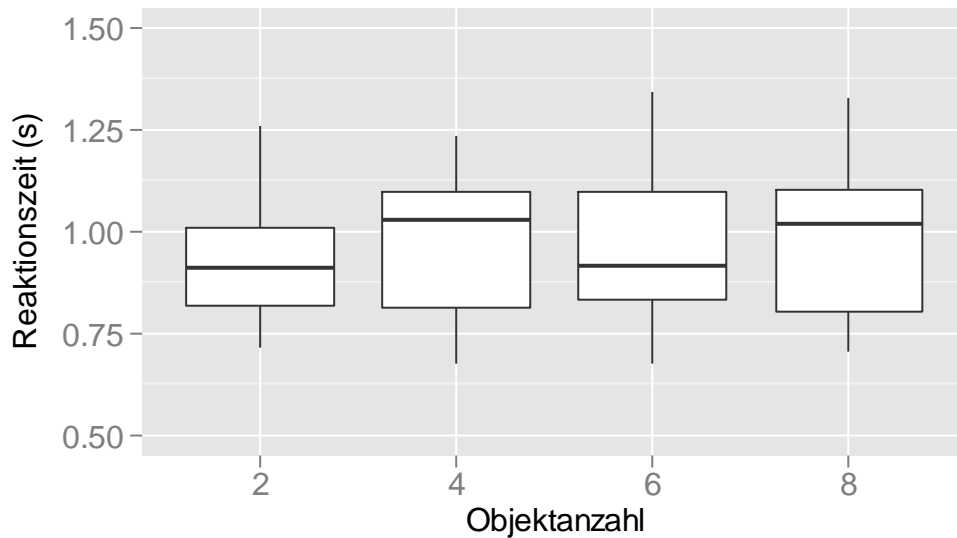


Abbildung 31: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*

#### 4.3.7 Farbe & Geschwindigkeit (+)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 25 - 28 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 20 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Alle Bedingung weisen normalverteilte Daten auf. In Abbildung 32 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 20: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (s) für *Farbe & Geschwindigkeit (+)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.80	0.80	0.11	0.60	1.08	0.84	.297
4	22	0.89	0.90	0.18	0.59	1.19	1.02	.512
6	22	0.93	0.93	0.15	0.69	1.20	1.03	.856
8	22	0.97	0.99	0.17	0.68	1.37	1.07	.715

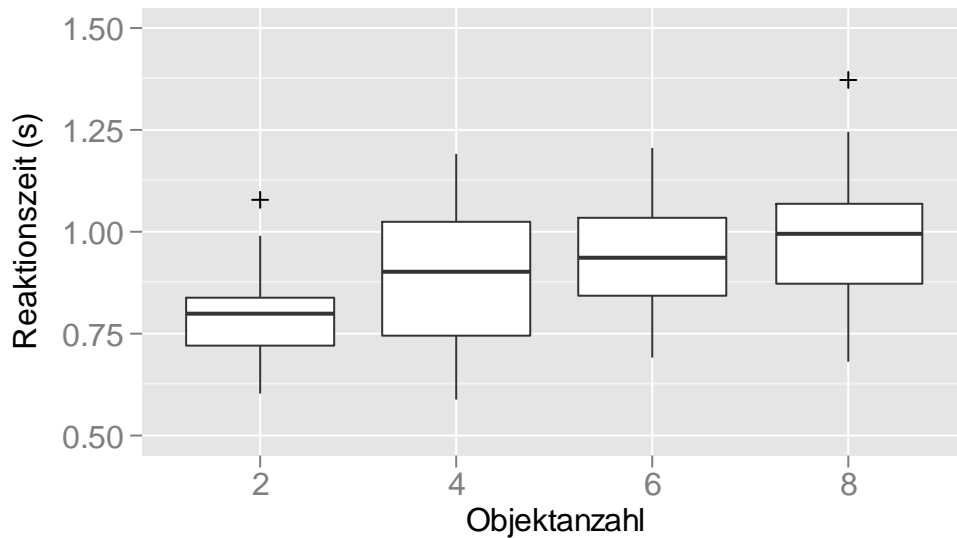


Abbildung 32: Boxplots der Reaktionszeiten (s) für *Farbe & Geschwindigkeit (+)*

#### 4.3.8 Farbe & Geschwindigkeit (-)

In diesem Abschnitt werden die deskriptiven Daten für die Reaktionszeiten der Bedingungen 29 - 32 aus Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 21 sind die deskriptiven Daten geordnet nach der Objektanzahl zu finden. Die Bedingungen mit zwei und vier Objekten weisen keine normalverteilten Daten auf. In Abbildung 33 sind die Verteilungen der Bedingungen anhand von Boxplots graphisch veranschaulicht.

Tabelle 21: Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten für *Farbe & Geschwindigkeit (-)*

Objektanzahl	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk	
							<i>W</i>	<i>p</i>
2	22	0.81	0.79	0.15	0.63	1.22	0.85	.002
4	22	0.90	0.86	0.20	0.66	1.41	0.92	<.001
6	22	0.94	0.93	0.16	0.69	1.21	1.09	.293
8	22	0.95	0.93	0.17	0.69	1.32	1	.061

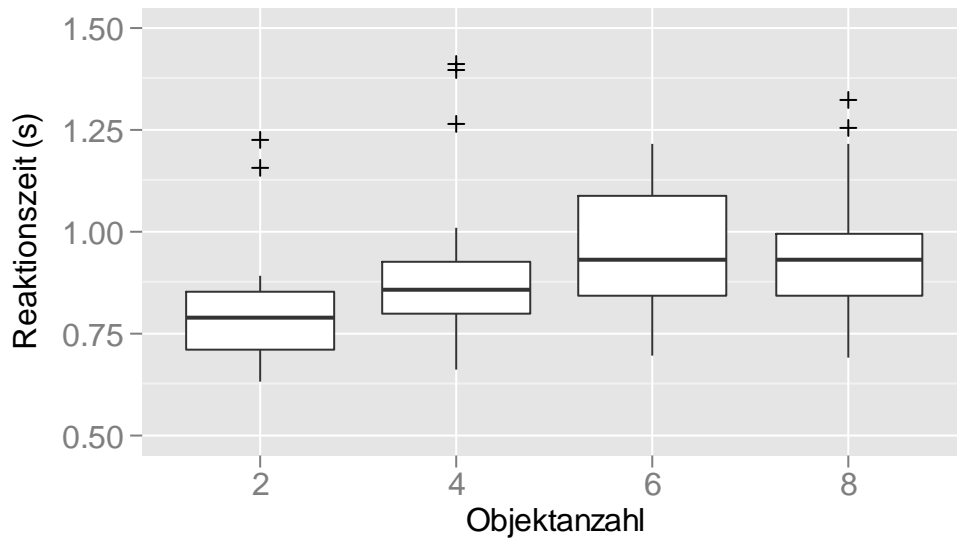


Abbildung 33: Boxplots der Reaktionszeiten für *Farbe & Geschwindigkeit (-)*

#### 4.4 Überprüfung der Hypothesen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zu den in Abschnitt 2.9 aufgeführten Hypothesen dargestellt. Es wird jeweils zunächst beschrieben, welche statistischen Analysen verwendet wurden und eine Begründung für die Vorgehensweise gegeben. Feature-Veränderung wird im Folgenden als Begriff verwendet, um die Bedingungen zusammenzufassen, in denen sich dasselbe Feature verändert hat. Feature-Veränderungen waren also beispielsweise *Farbe & Geschwindigkeit (-)* oder *Farbe (statisch)*. Objektanzahl bezieht sich auf die Anzahl an gezeigten Objekten, sprich 2, 4, 6 oder 8. Die einzelnen Kombinationen aus Feature-Veränderung und den Objektanzahlen werden als Bedingungen bezeichnet. Als signifikant wurden hier alle Ergebnisse beurteilt, deren p-Werte unter einem Alpha-Niveau von 5% lagen.

##### 4.4.1 Hypothese 1

Die erste Hypothese lautete „Die Signalstärke ( $d'$ ) nimmt mit steigender Objektanzahl ab.“ Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde für jede Feature-Veränderung ein Friedman-Test mit Objektanzahl als unabhängiger Variable und Signalstärke ( $d'$ ) als abhängiger Variable berechnet. Die Auswertung erfolgte mittels parameterfreier Verfahren, da ein Großteil der Bedingungen keine normalverteilten Daten aufwies (siehe Abschnitt 4.2).

Für jede Feature-Veränderung konnte ein signifikanter Effekt der Objektanzahl auf die Signalstärke gefunden werden. Aus den deskriptiven Statistiken sowie den Berechnungen im

Rahmen der zweiten Hypothese lässt sich erkennen, dass die Mediane bei allen Feature-Veränderungen mit steigender Objektanzahl abnehmen. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Ergebnisse des Friedman-Tests für die Signalstärke mit Objektanzahl als unabhängige Variable

<b>Feature-Veränderung</b>	<b><i>Md</i><sub>2</sub></b>	<b><i>Md</i><sub>4</sub></b>	<b><i>Md</i><sub>6</sub></b>	<b><i>Md</i><sub>8</sub></b>	<b><i>n</i></b>	<b><i>df</i></b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b><i>p</i></b>
Farbe (statisch)	2.56	1.81	1.28	0.76	22	3	49.12	<.001
Farbe (dynamisch)	2.56	1.81	1.28	0.76	22	3	35.25	<.001
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2.56	1.81	1.81	1.54	22	3	17.40	.001
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	1.81	0.76	0.76	0.00	22	3	38.45	<.001
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	1.81	1.28	0.90	1.02	22	3	20.73	<.001
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	1.81	0.76	0.26	0.26	22	3	35.85	<.001
Farbe & Geschwindigkeit (+)	2.56	2.56	1.28	1.54	22	3	30.55	<.001
Farbe & Geschwindigkeit (-)	2.56	1.81	1.81	1.17	22	3	34.74	<.001

Bei zunehmender Objektanzahl zeigte sich somit für alle Feature-Veränderungen eine signifikante Reduktion der Signalstärke. Es kann also auf einen Effekt der Objektanzahl geschlossen und Hypothese 1 angenommen werden.

#### 4.4.2 Hypothese 2

Die zweite Hypothese lautete „Bei gleicher Objektanzahl sind die Signalstärken in dynamischen Bedingungen identisch mit den Signalstärken der statischen Bedingungen.“ Auch hier musste aufgrund der nicht normalverteilten Daten auf parameterfreie Verfahren zurückgegriffen werden.

Um die Hypothese zu überprüfen, wurde zunächst für alle Objektanzahlen ein Friedman-Test mit Feature-Veränderung als unabhängiger Variable und Signalstärke ( $d'$ ) als abhängige Variable berechnet. Für alle Objektanzahlen wurde ein signifikanter Effekt der Feature-Veränderung entdeckt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 dargestellt.



Tabelle 23: Ergebnisse des Friedman-Tests für die Signalstärke mit Feature-Veränderung als unabhängige Variable

Feature-Veränderung	$Md_2$	$Md_4$	$Md_6$	$Md_8$
Farbe (statisch)	2.56	1.81	1.28	0.76
Farbe (dynamisch)	2.56	1.81	1.28	0.76
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2.56	1.81	1.81	1.54
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	1.81	0.76	0.76	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	1.81	1.28	0.90	1.02
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	1.81	0.76	0.26	0.26
Farbe & Geschwindigkeit (+)	2.56	2.56	1.28	1.54
Farbe & Geschwindigkeit (-)	2.56	1.81	1.81	1.17
$n$	22	22	22	22
$df$	7	7	7	7
$\chi^2$	27.33	58.53	39.44	54.22
$p$	<.001	<.001	<.001	<.001

Zur weiteren Veranschaulichung ist in Abbildung 34 ein Interaktionsplot mit den Feature-Veränderungen auf der x-Achse sowie der Signalstärke auf der y-Achse dargestellt. Die Punkte markieren die Mediane der Bedingungen, die Farben markieren hingegen die Objektanzahl.

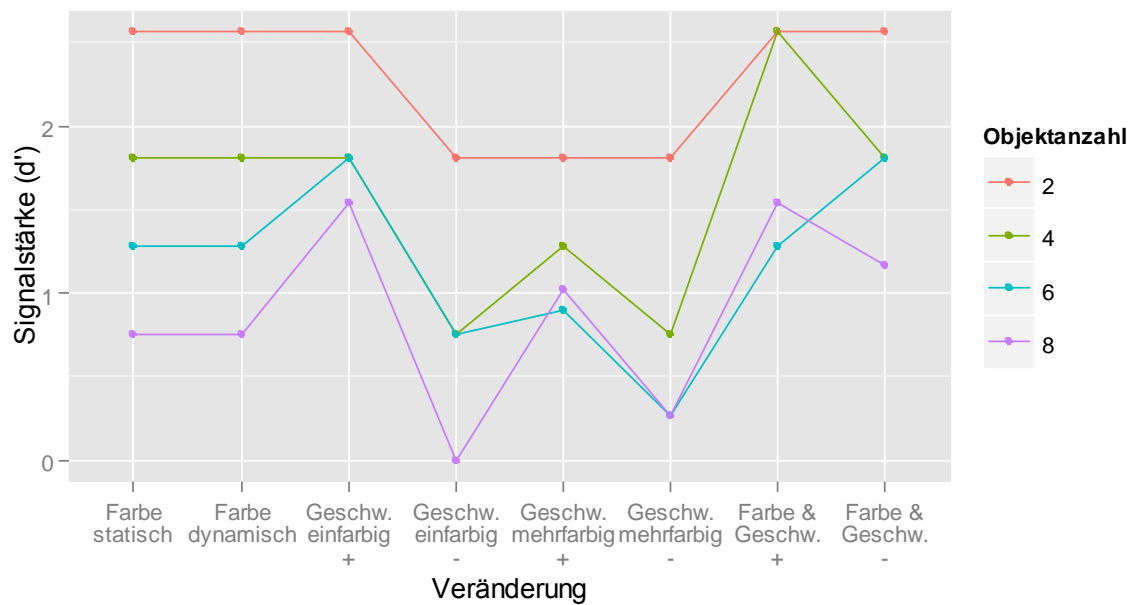


Abbildung 34: Interaktionsplot für die Signalstärke

Bei den Feature-Veränderungen *Farbe (statisch)* sowie *Farbe (dynamisch)* nimmt die Signalstärke mit steigender Objektanzahl ab. Die Verläufe sind zudem für beide Feature-Veränderungen identisch.

Bei der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)* sind die Mediane der Signalstärken bei zwei und vier Objekten identisch zu den Medianen der Feature-Veränderungen *Farbe (statisch)* und *Farbe (dynamisch)*. Bei sechs und acht Objekten sind die Signalstärken jedoch höher als bei den anderen zwei Feature-Veränderungen. Zudem ist keine Veränderung der Signalstärke zwischen vier und sechs Objekten zu verzeichnen. Zwischen Bedingungen mit sechs und acht Objekten ist die Differenz der Signalstärken zudem kleiner als zwischen Bedingungen mit zwei und vier Objekten. Die Signalstärke nimmt also auch im Fall der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)* mit steigender Objektanzahl ab, jedoch ist dieser Effekt nicht gleich für alle Objektanzahlen und somit nicht mehr klar interpretierbar.

Bei der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)* ist ein ähnlicher Verlauf der Signalstärke zu beobachten wie bei *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, jedoch sind die Signalstärken insgesamt niedriger. Auch hier ist kein Unterschied in der Signalstärke zwischen vier und sechs Objekten zu verzeichnen. Der Unterschied zwischen sechs und acht Objekten hingegen ist größer als bei *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*. Die Signalstärke nimmt also auch hier mit steigender Objektanzahl ab, jedoch differenzieren die Bedingungen mit 4 und sechs Objekten nicht so gut wie die Bedingungen mit zwei und acht Objekten. Auch hier kann der Effekt der Objektanzahl nur mit Einschränkungen interpretiert werden.

Bei der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* ist die Signalstärke bei zwei Objekten gleich der Signalstärke der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*. Bedingungen mit vier Objekten weisen eine niedrigere Signalstärke auf als Bedingungen mit zwei Objekten. Bedingungen mit acht Objekten hingegen führten zu leicht höheren Signalstärken als Bedingungen sechs Objekten. Hier ist der Effekt der Objektanzahl also ebenfalls nicht mehr klar interpretierbar.

Auch bei der Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)* zeigt sich der negative Effekt der Objektanzahl auf die Signalstärke, jedoch kommt es auch hier zu Unterschieden des Effekts in Abhängigkeit von den Objektanzahlen. Wohingegen zwischen zwei und vier sowie vier und sechs Objekten ein Unterschied der Signalstärken zu verzeichnen ist, kommt es zwischen sechs und acht Objekten zu keiner Veränderung. Zudem

ist der Unterschied zwischen zwei und vier Objekten größer als zwischen vier und sechs Objekten.

Bei der Feature-Veränderung *Farbe und Geschwindigkeit (+)* sind die Mediane der Signalstärken für Bedingungen mit zwei und vier Objekten identisch. Bei sechs Objekten ist eine leicht niedrigere Signalstärke als bei acht Objekten zu verzeichnen. Der Unterschied zwischen vier und acht Objekten ist größer als der Unterschied zwischen acht und sechs Objekten.

Bei der Feature-Veränderung *Farbe und Geschwindigkeit (-)* sind die Mediane der Signalstärken bei vier und sechs Objekten identisch. Bei zwei Objekten ist die Signalstärke höher, bei acht Objekten hingegen niedriger. Die Objektanzahl hatte also auch hier einen Effekt, jedoch differenzieren die Bedingungen mit vier und sechs Objekten nicht untereinander.

Der Effekt der Objektanzahl auf die Signalstärke variiert somit in Abhängigkeit der Objektanzahlen und ist zudem für die Feature-Veränderungen unterschiedlich. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse in Tabellen 22 und 23 nicht ohne Einschränkungen interpretiert werden können. Eine Ausnahme stellen dabei die Bedingungen der Feature-Veränderungen *Farbe (statisch)* und *Farbe (dynamisch)* dar. Hier kommt es zu keinen Interaktionseffekten und die Effekte können ohne Einschränkung interpretiert werden.

Die Bedingungen der Feature-Veränderung *Farbe (statisch)* stellten die Referenzbedingungen dar (siehe Abschnitt 3.3). Um den Unterschied der Signalstärken zwischen *Farbe (statisch)* und den anderen Feature-Veränderungen näher zu untersuchen, wurden die Differenzen der Signalstärken zwischen *Farbe (statisch)* und den restlichen Feature-Veränderungen gebildet. Die Ergebnisse der Untersuchung der Differenzen lassen eine detailliertere Analyse des Einflusses der Feature-Veränderungen im direkten Vergleich zur Referenzveränderung zu. Ein negativer Wert bedeutet hier, dass die Signalstärke der Feature-Veränderung im Vergleich zu *Farbe (statisch)* niedriger war, ein positiver Wert hingegen ist ein Indiz dafür, dass bessere Signalstärken erreicht wurden. In Tabelle 24 ist die Bildung der Differenzen veranschaulicht. Eine Zusammenfassung der deskriptiven Statistiken der Differenzen ist in Anhang F zu finden.

Tabelle 24: Berechnung der Differenzen

Objektanzahl	Rechenoperation
2	$Differenz_{i,j} = d'_{Farbe(statisch),j} - d'_{i,j}$ ( i = Veränderung, j = Objektanzahl)
4	
6	
8	

Für jede Bedingung wurde im Folgenden das Konfidenzintervall für den Median der Differenzen gebildet. Die Konfidenzintervalle wurden auf Basis eines non-parametrischen Bootstraps (Davison & Hinkley, 1997) mit 10000 Samples bestimmt. Das Konfidenzintervall wurde, wenn möglich, mit der BCa-Methode (Efron, 1987) berechnet. Bei dieser Methode wird die Schätzung des Konfidenzintervalls für die Schiefe der gebootstrappten Verteilung sowie für den Bias der gebootstrappten Verteilung korrigiert (Haukoos & Lewis, 2005). Der Bias stellt dabei die Differenz zwischen dem aus den ursprünglichen Daten errechneten Median und dem Mittelwert der Verteilung der Mediane der gebootstrappten Samples dar. Die Methode kann jedoch bei stark schiefen und von der Normalverteilung abweichenden Verteilungen zu ungenauen Schätzungen führen. Ist dies der Fall, gibt R eine Warnung beim Bestimmen der Konfidenzintervalle aus („Warning: BCa Intervals used Extreme Quantiles.“). In diesen Fällen wurde auf die klassische Schätzmethode zurückgegriffen, die auf Quantilen der Verteilung beruht (Wollschläger, 2015) und in R als „Basic“ benannt ist. Die Auswertung wurde unter Nutzung des R-package „boot“ durchgeführt (Canty & Ripley, 2015). In Tabelle 25 sind die Mediane der Differenzen, die jeweils benutzte Schätzmethode sowie die oberen und unteren Grenzen der Konfidenzintervalle dargestellt.

Tabelle 25: Berechnete Konfidenzintervalle für Differenzen der Signalstärke  $d'$ 

Veränderung	Objekt -anzahl	$Md$	Bias	Schätz- methode	Untere Grenze	Obere Grenze
Farbe (dynamisch)	2	0.00	0.00	Basic	0.00	0.00
Farbe (dynamisch)	4	0.00	-0.13	BCa	-0.76	0.00
Farbe (dynamisch)	6	0.00	0.16	Basic	-0.76	0.00
Farbe (dynamisch)	8	0.00	0.09	Basic	-0.52	0.00
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2	0.00	0.00	Basic	0.00	0.00
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	4	-0.10	-0.11	BCa	-0.64	0.00
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	6	0.52	-0.11	BCa	0.00	0.64
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	8	0.52	0.06	Basic	0.00	0.67
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	2	-0.38	0.00	BCa	-1.02	0.00
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	4	-1.05	0.02	BCa	-1.81	-0.52
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	6	-0.52	0.07	Basic	-1.05	-0.29
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	8	-0.64	0.15	BCa	-1.05	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	2	0.00	-0.26	BCa	-1.02	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	4	-0.52	0.11	BCa	-1.40	-0.26
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	6	0.00	-0.11	BCa	-0.76	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	8	0.52	0.04	Basic	0.29	0.93
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	2	-0.76	0.11	Basic	-1.51	-0.76
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	4	-1.17	-0.05	BCa	-1.92	-0.76
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	6	-0.76	0.10	Basic	-1.51	-0.47
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	8	-0.76	0.23	Basic	-1.51	-0.76
Farbe & Geschwindigkeit (+)	2	0.00	0.00	Basic	0.00	0.00
Farbe & Geschwindigkeit (+)	4	0.00	0.02	Basic	0.00	0.00
Farbe & Geschwindigkeit (+)	6	0.41	-0.08	BCa	0.00	0.76
Farbe & Geschwindigkeit (+)	8	0.76	-0.11	BCa	0.00	1.05
Farbe & Geschwindigkeit (-)	2	0.00	0.00	BCa	0.00	1.05
Farbe & Geschwindigkeit (-)	4	0.00	-0.05	Basic	0.00	0.64
Farbe & Geschwindigkeit (-)	6	0.26	0.20	BCa	0.00	1.17
Farbe & Geschwindigkeit (-)	8	0.52	-0.05	BCa	-0.23	0.76

Es ist eine große Variabilität der Mediane und Konfidenzintervalle der Differenzen in Abhängigkeit von der Objektanzahl zu beobachten. Dies unterstützt die Ergebnisse aus Tabellen 22 und 23 sowie Abbildung 34. Um die Konfidenzintervalle besser zu veranschaulichen sind sie in Abbildungen 35 – 38 getrennt nach Objektanzahlen dargestellt.

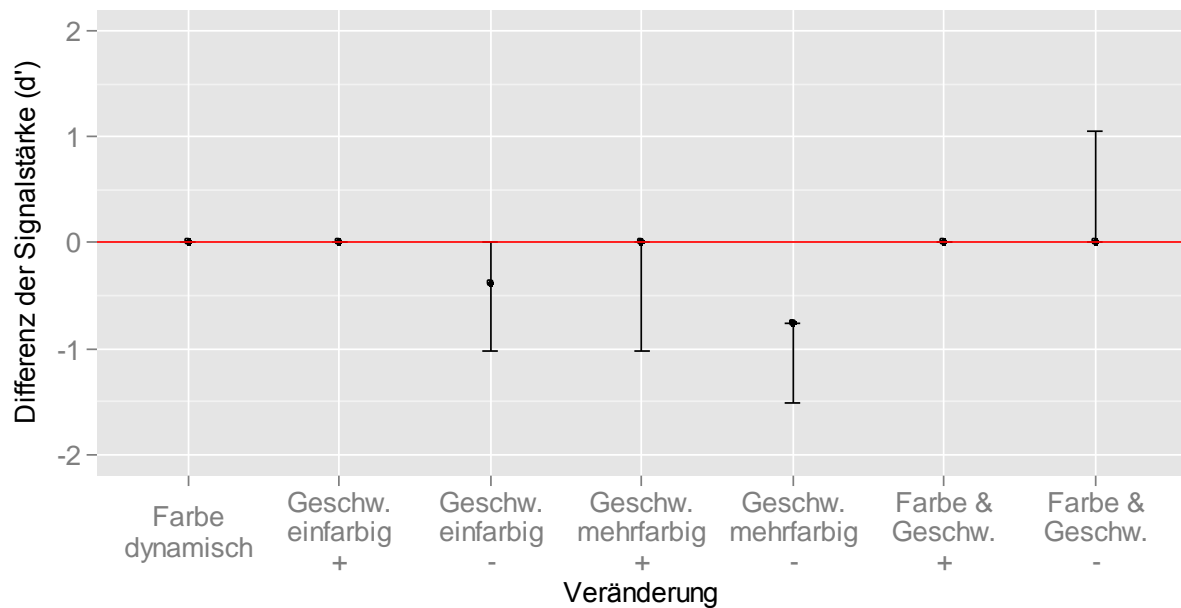


Abbildung 35: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 2 Objekten

In Abbildung 35 sind die Konfidenzintervalle sowie Mediane der Differenzen für Bedingungen mit zwei Objekten veranschaulicht. Im Vergleich zu *Farbe (statisch)* weisen die Feature-Veränderungen *Farbe (dynamisch)*, *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, *Farbe und Geschwindigkeit (+)* sowie *Farbe und Geschwindigkeit (-)* ähnlich hohe Signalstärken auf. Hier kommt es zudem bis auf bei der Feature-Veränderung *Farbe und Geschwindigkeit (-)* zu Konfidenzintervallen mit der Länge 0. Die Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*, *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* sowie *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)* weisen niedrigere Signalstärken im Vergleich zu *Farbe (statisch)* auf, wobei beachtet werden muss, dass bei *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* der Median sowie die obere Grenze des Konfidenzintervalls 0 betragen. Die obere Grenze des Konfidenzintervalls von *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)* ist ebenfalls 0.

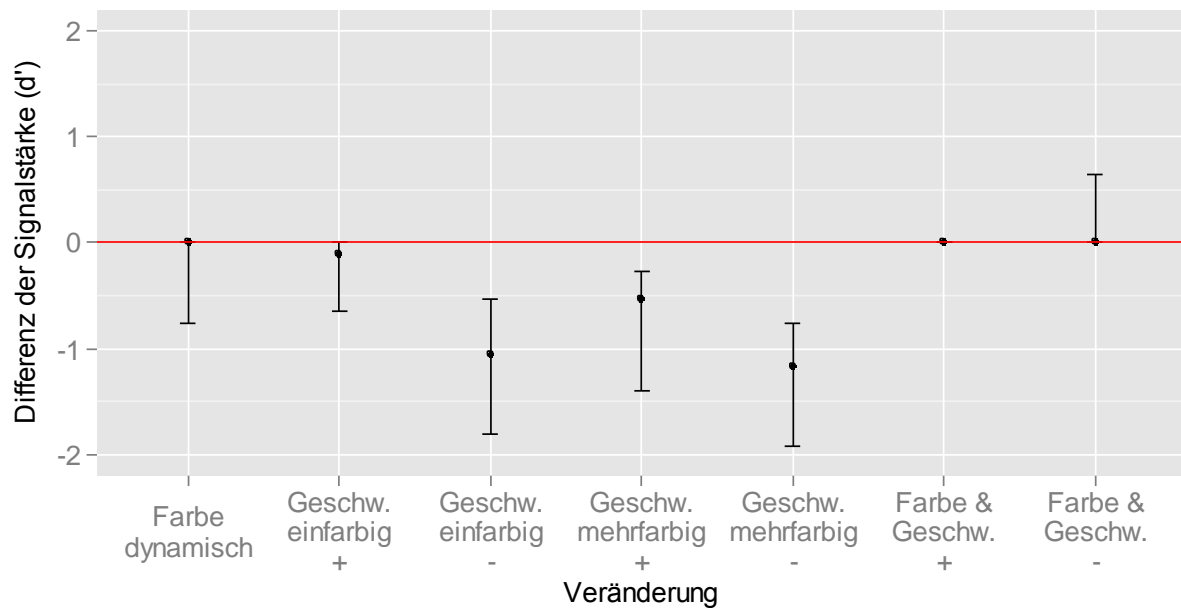


Abbildung 36: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 4 Objekten

In Abbildung 36 sind die Konfidenzintervalle sowie Mediane der Differenzen für Bedingungen mit vier Objekten veranschaulicht. Feature-Veränderungen, in den lediglich die Geschwindigkeit verändert wurde, weisen schlechtere Signalstärken auf als *Farbe (statisch)*. Ausnahme ist *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, hier beträgt die obere Grenze des Konfidenzintervalls 0. Bei allen anderen Feature-Veränderungen betragen die Mediane 0. Bei der Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)* ist die untere Grenze des Konfidenzintervalls jedoch negativ, was auf schlechtere Signalstärken schließen lässt. Feature-Veränderungen, in denen Farbe und Geschwindigkeit verändert wurden weisen hingegen gleich gute oder bessere Signalstärken im Vergleich zu *Farbe (statisch)* auf.

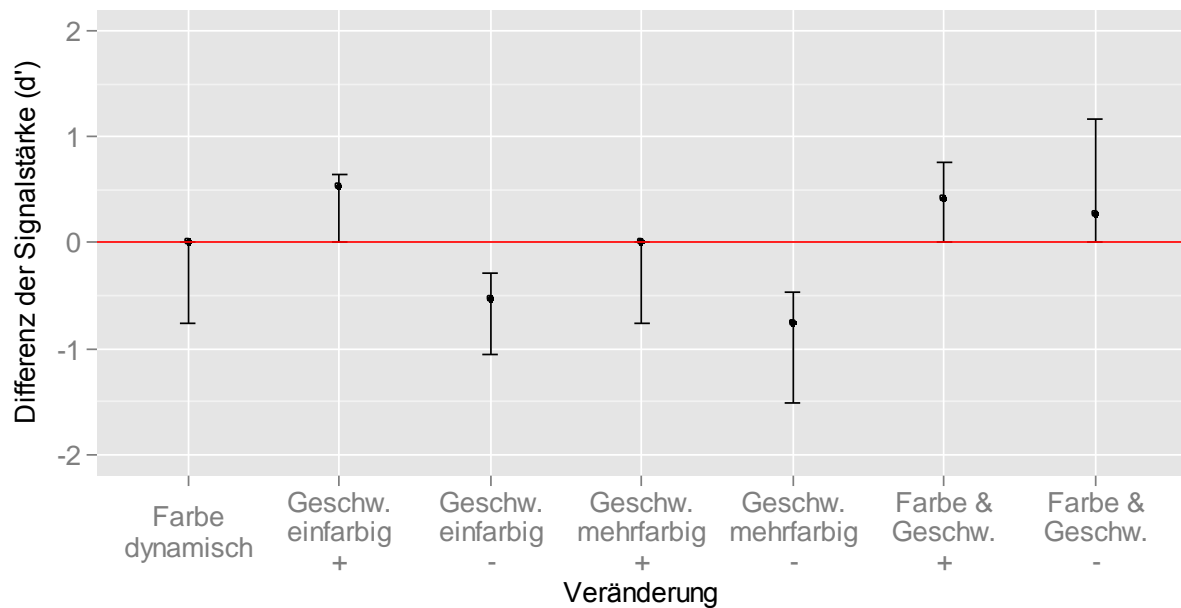


Abbildung 37: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 6 Objekten

In Abbildung 37 sind die Konfidenzintervalle sowie Mediane der Differenzen für Bedingungen mit sechs Objekten veranschaulicht. Die Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, *Farbe und Geschwindigkeit (+)* sowie *Farbe und Geschwindigkeit (-)* weisen höhere Signalstärken auf, als *Farbe (statisch)*. Der Median bei *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* ist identisch mit dem von *Farbe (statisch)*, jedoch hat hier die untere Grenze des Konfidenzintervalls einen negativen Wert, was schlechtere Signalstärken impliziert, gleiches gilt für *Farbe (dynamisch)*. Die Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)* sowie *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)* weisen schlechtere Signalstärken auf als *Farbe (statisch)*.



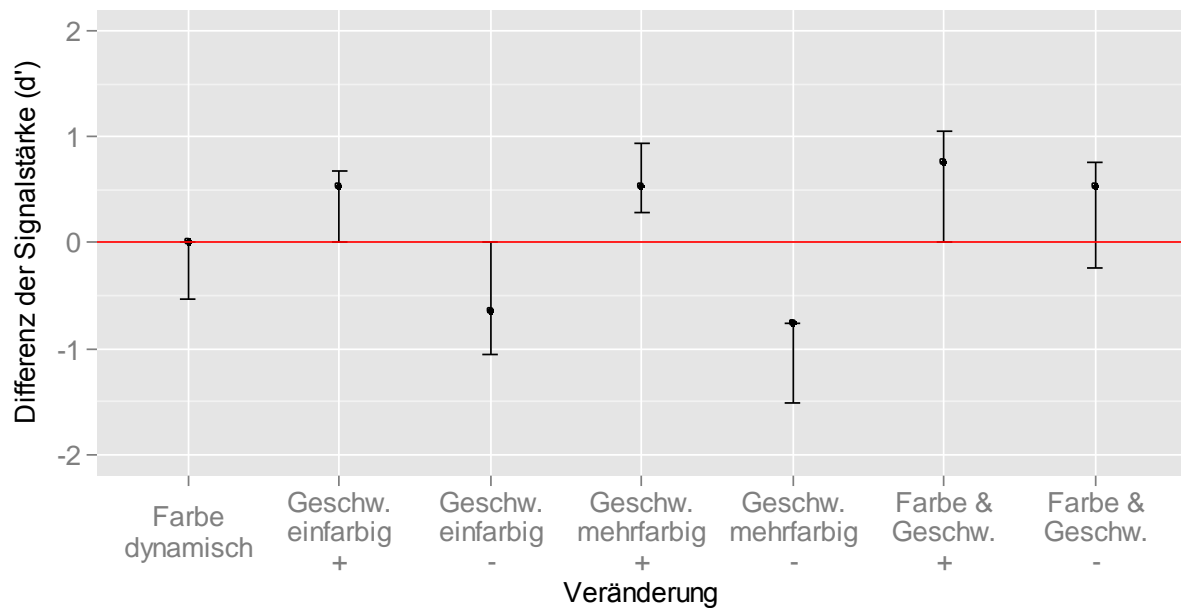


Abbildung 38: Konfidenzintervalle der Differenzen in der Signalstärke für Bedingungen mit 8 Objekten

In Abbildung 38 sind die Konfidenzintervalle sowie Mediane der Differenzen für Bedingungen mit acht Objekten veranschaulicht. Die Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*, *Farbe und Geschwindigkeit (+)* sowie *Farbe und Geschwindigkeit (-)* weisen bessere Signalstärken auf als *Farbe (statisch)*, *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)* und *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)* hingegen weisen schlechtere Signalstärken auf. Der Median für die Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)* ist identisch mit dem der Feature-Veränderung *Farbe (statisch)*, jedoch impliziert das Konfidenzintervall schlechtere Signalstärken, da es fast komplett im negativen Bereich liegt.

In Bezug auf Hypothese 2 („Bei gleicher Objektanzahl sind die Signalstärken in dynamischen Bedingungen identisch mit den Signalstärken der statischen Bedingungen.“) ließen sich zusammenfassend die folgenden Ergebnisse feststellen. Der signifikante Effekt der Feature-Veränderung spricht zunächst dafür, dass sich die Signalstärke über die Feature-Veränderungen hinweg unterscheidet. Um dies näher zu untersuchen, wurden jeweils Differenzen zur Referenzveränderung *Farbe (statisch)* gebildet und mithilfe eines non-parametrischen Bootstraps sowie non-parametrischer Schätzmethoden die Konfidenzintervalle der Differenzen für alle Bedingungen geschätzt. Dies diente als Indikator dafür, wie sehr die Verteilungen der Signalstärken von der Referenzveränderung in

Abhängigkeit von der Objektanzahl abweichen. Aufgrund der teilweise kleinen Varianz und extrem von der Normalverteilung abweichenden Verteilungen kam es stellenweise zu ungenauen Schätzungen der Konfidenzintervalle, die Ergebnisse müssen hier also mit Vorsicht interpretiert werden. Unabhängig von der Dynamik der Objekte waren die Signalstärken in Bedingungen, in denen Farbe das veränderte Feature darstellte, ähnlich hoch. Wurden mit Farbe und Geschwindigkeit zwei Feature verändert, kam es teilweise zu höheren Signalstärken als bei der Feature-Veränderung *Farbe (statisch)*, was auf einen Effekt der Geschwindigkeitsveränderungen schließen lässt.

Die Geschwindigkeitsveränderungen weisen abhängig von der Objektanzahl sehr unterschiedliche Verteilungen auf. Es ist jedoch erkennbar, dass es einen Unterschied zwischen den zwei Stufen der Geschwindigkeitsveränderungen (schnell und langsam) gibt. Die Signalstärken in Bedingungen, in denen die Target-Geschwindigkeit zunahm, waren bei gleichfarbigen Objekten unabhängig von der Objektanzahl ähnlich hoch wie die Signalstärken der Referenzbedingungen (*Farbe (statisch)*). Bei mehrfarbigen Objekten waren die Signalstärken etwas schlechter als bei *Farbe (statisch)*, jedoch nicht so schlecht wie bei Feature-Veränderungen, in denen das Target im Test langsamer war als im Sample. In diesen Bedingungen lässt sich eine systematisch niedrigere Signalstärke als in allen anderen Bedingungen beobachten.

Hypothese 2 kann somit nur für die Feature-Veränderungen *Farbe (dynamisch)*, *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, *Farbe & Geschwindigkeit (+)* sowie *Farbe & Geschwindigkeit (-)* angenommen werden. In Bedingungen mit Geschwindigkeitsreduktionen ohne Farbveränderung waren die Signalstärken niedriger als die der Referenzbedingungen. Die Feature-Veränderung *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* weist bis auf Bedingungen mit acht Objekten tendenziell niedrigere Signalstärken auf als die Referenzbedingungen.

Gleichzeitig schränken die Ergebnisse der Analysen aus Hypothese 2 den gefunden Effekt in Hypothese 1 ein. Die zu Hypothese 1 dargestellten Effekte sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da es innerhalb der Feature-Veränderungen zu Interaktionseffekten mit der Objektanzahl kam. Das heißt, dass die Manipulation der Objektanzahl keinen homogenen Effekt auf die einzelnen Feature-Veränderungen hatte.

#### **4.4.3 Hypothese 3**

Hypothese 3 lautete „Die Reaktionszeit ist länger bei dynamischen Bedingungen als bei statischen Bedingungen.“ Um die Hypothese zu überprüfen, wurde ein einseitiger t-Test

für verbundene Stichproben zwischen den Feature-Veränderungen *Farbe (statisch)* und *Farbe (dynamisch)* mit der Reaktionszeit als abhängige Variable durchgeführt. Hierfür wurden die Daten aller Objektanzahlen zusammengefasst. Für die Feature-Veränderungen wurden Shapiro-Wilk-Tests berechnet, die mit  $p = .139$  und  $p = .087$  nicht signifikant wurden. Es wurde somit von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen. Zudem wurde ein Levene-Test auf Varianzhomogenität durchgeführt. Dieser wurde mit  $F(1, 174) = 0.37, p = .544$  ebenfalls nicht signifikant. Im t-Test zeigte sich ein signifikanter Effekt der Feature-Veränderung mit  $t(87) = -2.76, p = .004$  und einer mittleren Effektstärke von  $r = .30$ , was nach Cohen (1992) einem mittleren Effekt entspricht. Die deskriptiven Daten beider Feature-Veränderungen sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Deskriptive Daten der Feature-Veränderungen für Hypothese 3

Feature-Veränderung	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro-Wilk		Levene <i>p</i>
						<i>W</i>	<i>p</i>	
Farbe (statisch)	0.85	0.83	0.17	0.54	1.3		.139	.549
Farbe (dynamisch)	0.89	0.86	0.16	0.57	1.3		.087	.549

Hypothese 3 kann demnach als bestätigt angesehen werden, jedoch muss eine Einschränkung vorgenommen werden, da die Analysen zu Hypothesen 4 und 5 in Abschnitt 4.4.4 einen Interaktionseffekt zwischen Feature-Veränderung und Objektanzahl aufzeigten. Der postulierte Effekt aus Hypothese 3 nimmt demnach mit steigender Objektanzahl ab.

#### 4.4.4 Hypothesen 4 und 5

Um Hypothesen 4 („Die Reaktionszeit nimmt mit steigender Objektanzahl zu.“) und 5 („Bei gleicher Objektanzahl sind die Reaktionszeiten in Bedingungen mit Geschwindigkeitsveränderungen identisch zu den Reaktionszeiten der Bedingungen mit Farbveränderungen bei dynamischen Objekten.“) zu untersuchen, wurde eine mehrfaktorielle, univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit Feature-Veränderung und Objektanzahl als unabhängige Variablen und Reaktionszeit als abhängige Variable berechnet. Bei der Interpretation ist jedoch zu beachten, dass in drei Bedingungen keine Normalverteilung der Daten vorlag (siehe Abschnitt 4.3). Es wurde ein Levene-Test auf Varianzhomogenität gerechnet, der nicht signifikant wurde ( $F(31,672) = 1.01, p = .454$ ). Da es zu Sphärizitätsverletzungen kam, wurden Greenhouse-Geisser-Korrekturen vorgenommen und bei signifikanten Abweichungen von der Sphärizität die korrigierten *p*-Werte interpretiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Ergebnisse der Varianzanalyse mit Feature-Veränderung und Objektanzahl als unabhängige Variablen und Reaktionszeit als abhängige Variable

Unabhängige Variable	df	F	p	Mauchly p	p[GG]
Veränderung	7, 147	8.84	< .001	.075	-
Objektanzahl	3, 63	20.55	< .001	.008	< .001
Veränderung*Objektanzahl	21, 441	2.02	.005	< .001	.042

Aus der Tabelle wird deutlich, dass sowohl die Feature-Veränderungen als auch die Objektanzahl einen signifikanten Effekt auf die Reaktionszeit hatten. Die Haupteffekte können jedoch nur mit Einschränkung interpretiert werden, da der Interaktionseffekt signifikant geworden ist. In Abbildung 39 ist zu erkennen, dass es bei den Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*, *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* sowie *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)* zu Interaktionseffekten kommt. Die Effekte können also für Bedingungen, in denen diese Feature-Veränderungen stattgefunden haben, nicht ohne Einschränkung interpretiert werden.

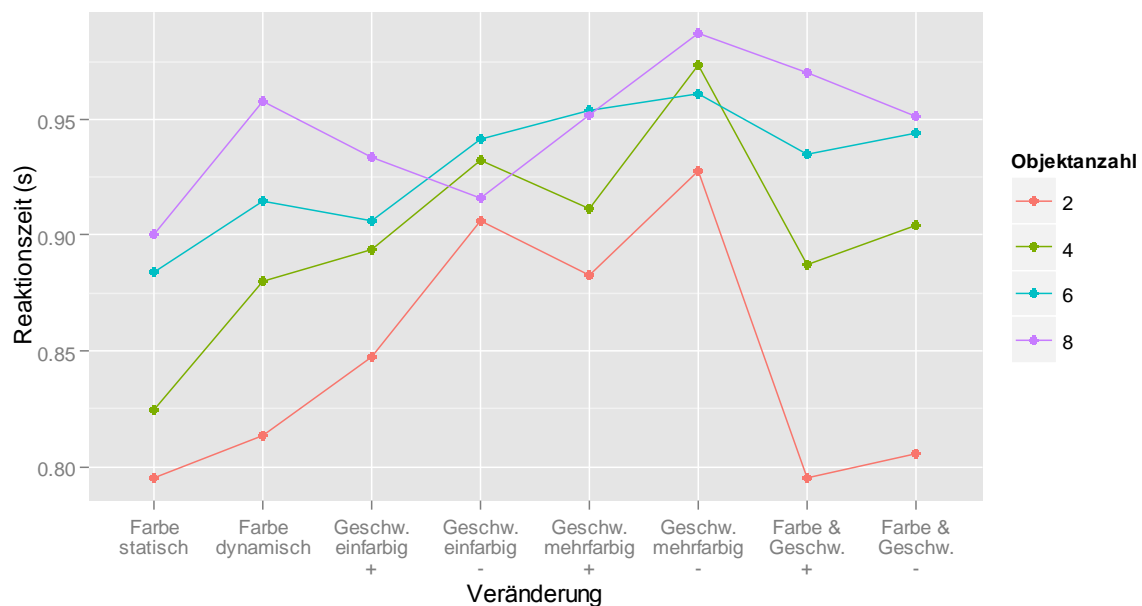


Abbildung 39: Interaktionsdiagramm der ANOVA für Reaktionszeiten

Um die Effekte der einzelnen Bedingungen näher zu untersuchen, wurden auch für die Mittelwerte Konfidenzintervalle über einen non-parametrischen Bootstrap bestimmt. In Abbildungen 40 – 43 sind die Mittelwerte und Konfidenzintervalle der einzelnen Bedingungen nach Objektanzahl getrennt dargestellt. Die roten Linien markieren die Grenzen der Konfidenzintervalle für die Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)*. Die schwarzen

Linien hingegen stellen die Grenzen der Konfidenzintervalle für *Farbe (statisch)* dar. Da es einen signifikanten Unterschied der Reaktionszeiten zwischen statischen und dynamischen Bedingungen gab, ist ein Vergleich der dynamischen Bedingungen zur Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)* sinnvoller als zur Feature-Veränderung *Farbe (statisch)*. Eine Zusammenfassung der Daten befindet sich in Anhang G.

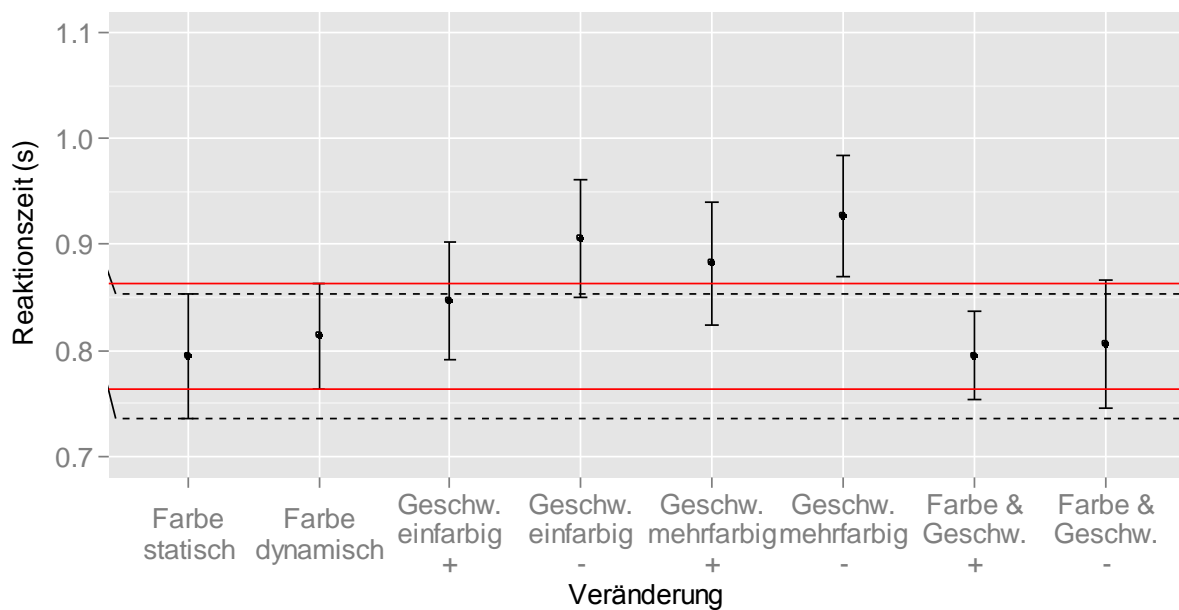


Abbildung 40: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 2

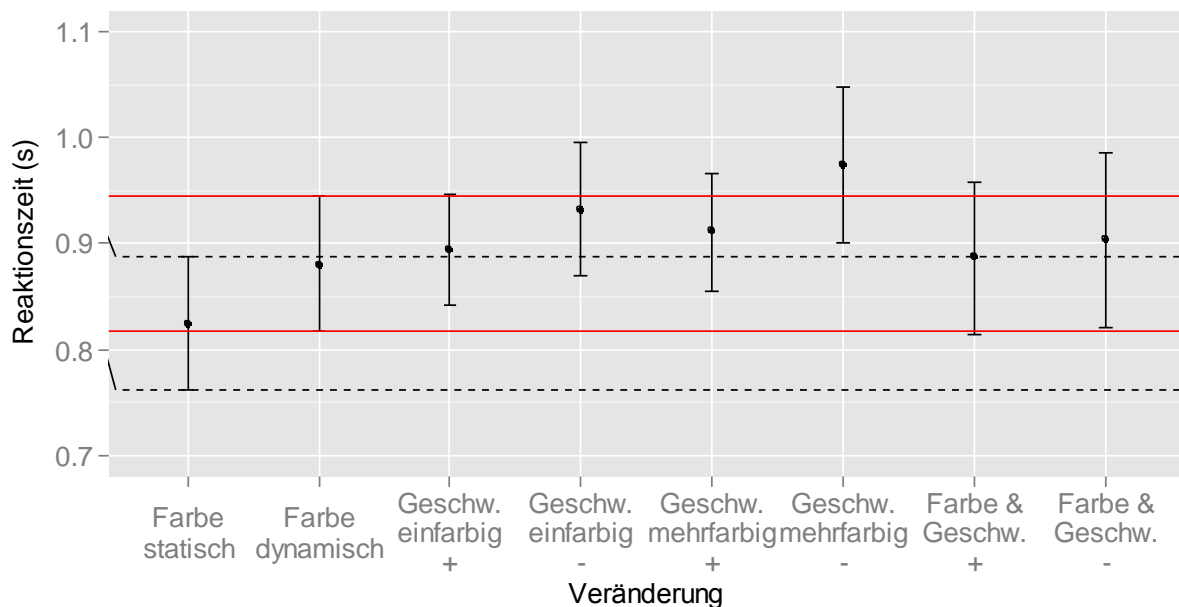


Abbildung 41: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 4

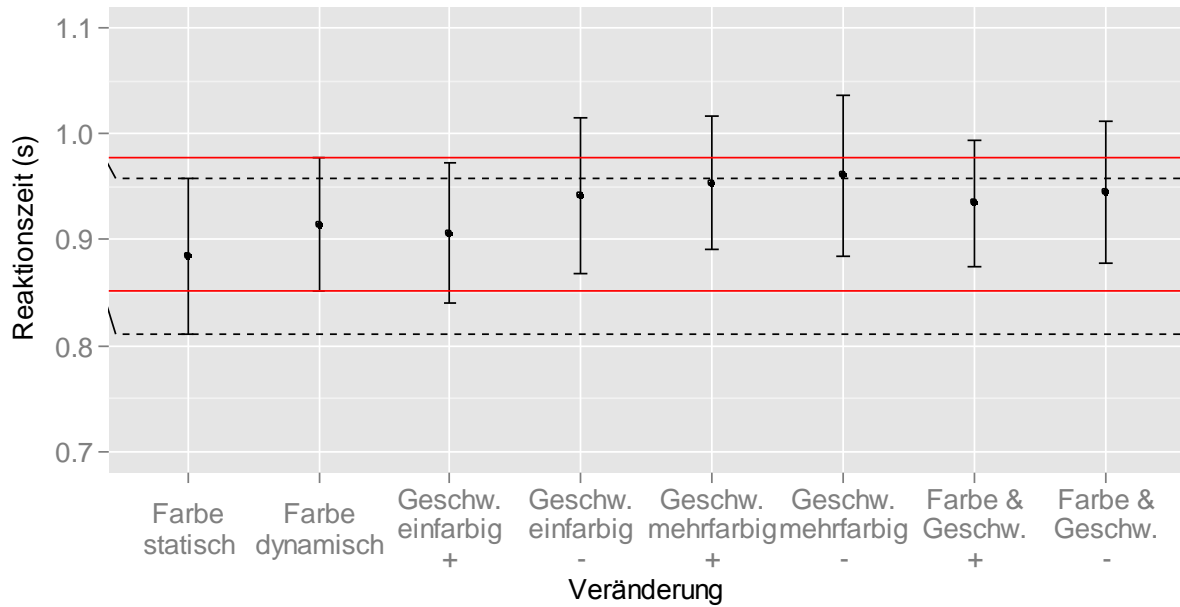


Abbildung 42: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 6

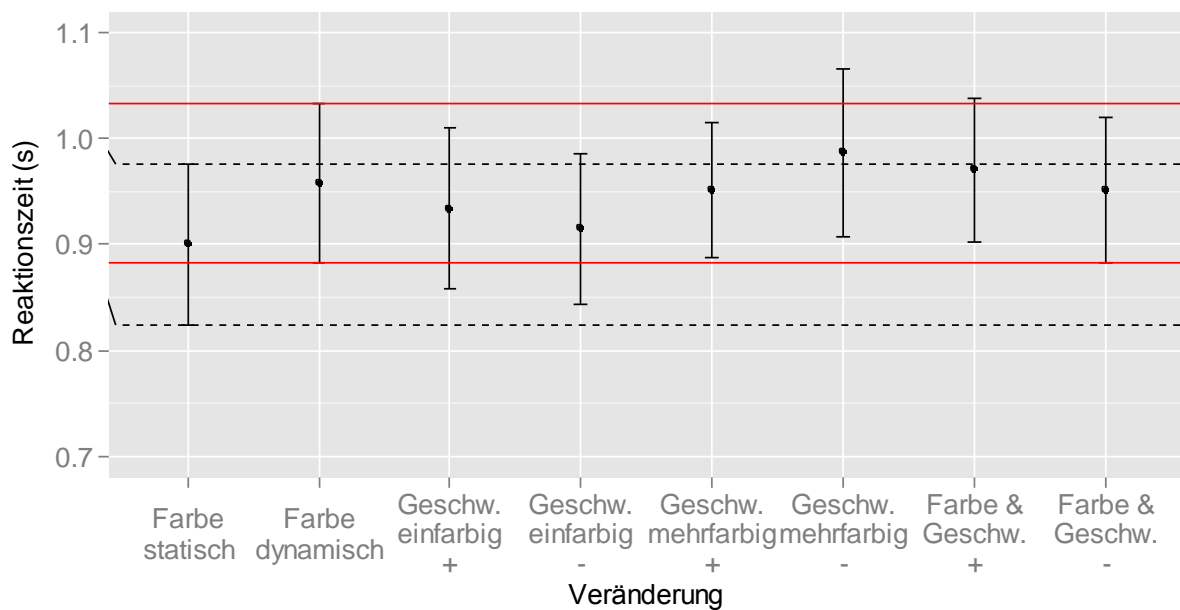


Abbildung 43: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Feature-Veränderungen für Objektanzahl 8

Es ist zu erkennen, dass die Varianz zwischen den Feature-Veränderungen mit steigender Objektanzahl abnimmt. Dies spiegelt den signifikanten Interaktionseffekt zwischen Objektanzahl und Feature-Veränderung aus Tabelle 27 wider. Weiter lässt sich erkennen, dass vor allem in den Bedingungen mit zwei und vier Objekten die Bedingungen mit Geschwindigkeitsveränderungen am stärksten von *Farbe (statisch)* abweichen. Der

Mittelwert sowie die Grenzen der Konfidenzintervalle für die Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)* liegen unabhängig von der Objektanzahl über dem Mittelwert und den Konfidenzintervallgrenzen von *Farbe (statisch)*.

Hypothese 4 kann bestätigt werden. Es ist ein signifikanter Effekt der Objektanzahl auf die Signalstärke zu verzeichnen (siehe Tabelle 27). Jedoch müssen bei der Interpretation Einschränkungen vorgenommen werden. Es ist ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Feature-Veränderung und Objektanzahl zu verzeichnen. Dieser Effekt wird in Abbildungen 40 – 43 deutlich. Mit steigender Objektanzahl nähern sich die Verteilungen der Reaktionszeiten einander an.

Der Interaktionseffekt wirkt sich auch auf die Ergebnisse von Hypothese 5 („Bei gleicher Objektanzahl sind die Reaktionszeiten in Bedingungen mit Geschwindigkeitsveränderungen identisch zu den Reaktionszeiten der Bedingungen mit Farbveränderungen bei dynamischen Objekten.“) aus. Während die Hypothese bei Bedingungen mit sechs und acht Objekten bestätigt werden konnte (siehe Abbildungen 42 und 43), konnte sie für Bedingungen mit zwei und vier Objekten nicht bestätigt werden. Hier ist zu beobachten, dass bei Bedingungen, in denen die Geschwindigkeit das veränderte Feature war, die Reaktionszeiten tendenziell länger waren als bei den restlichen Bedingungen. Dieser Effekt nimmt jedoch mit steigender Objektanzahl ab. Hypothese 5 kann somit nur für Bedingungen mit sechs und acht Objekten ohne Einschränkungen angenommen werden.

#### **4.4.5 Zusätzliche Analysen: Vergleich der Geschwindigkeitsbedingungen**

Da der Fokus der vorliegenden Studie explizit auf Geschwindigkeiten lag, werden in diesem Abschnitt zur weiteren Veranschaulichung die Bedingungen, in denen die Geschwindigkeit das veränderte Feature darstellte (*Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)*, *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*, *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* und *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*), mit ihren direkten Vergleichsbedingungen, wie sie in Abschnitt 3.3 erläutert wurden, verglichen. In Bedingungen mit gleichfarbigen Objekten (sprich die Feature-Veränderungen *Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)* und *Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)*) war die Feature-Veränderung *Farbe (statisch)* die direkte Vergleichsbedingung, bei mehrfarbigen Objekten (also *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)* und *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*) ist dies *Farbe (dynamisch)*. Für diesen Zweck wurden die Konfidenzintervalle der Signalstärken mithilfe des non-parametrischen Bootstraps (wie in Abschnitt 4.4.1 beschrieben) bestimmt. Abbildungen 44 und 45 zeigen die Mediane sowie Konfidenzintervalle für die Feature-

Veränderungen getrennt nach Objektanzahl. Es sind zusätzlich als Referenz die jeweils direkten Vergleichsbedingungen dargestellt. Eine Zusammenfassung dieser Daten ist Anhang H zu finden.

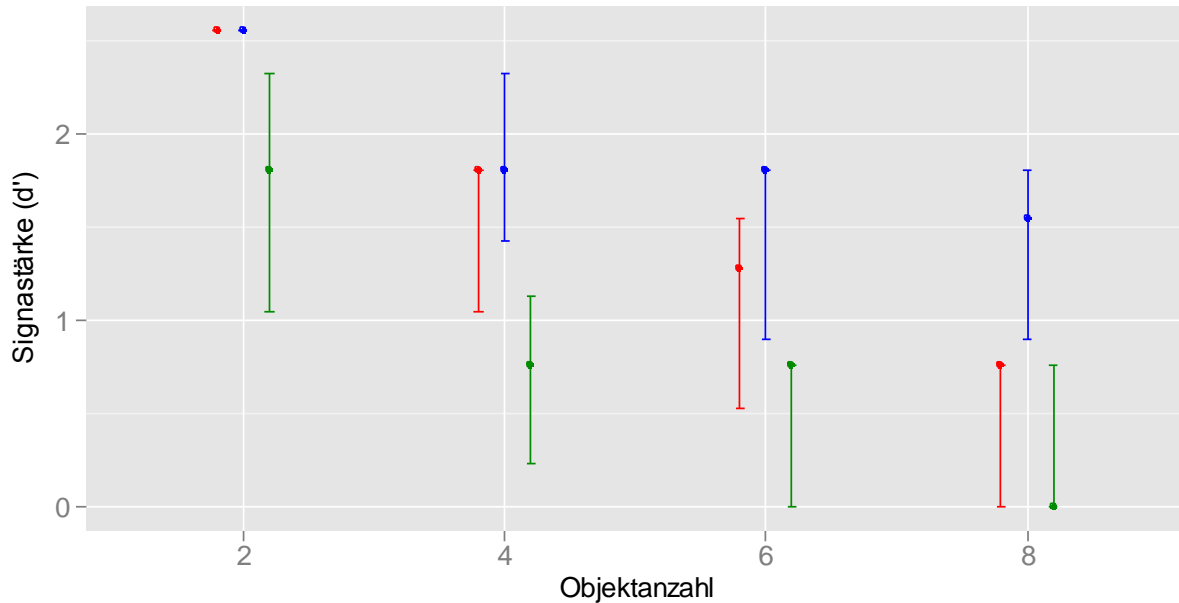


Abbildung 44: Mediane und Konfidenzintervalle der Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen bei gleichfarbigen Objekten sowie Farbveränderung bei statischen Objekten. Rot = *Farbe (statisch)*, Blau = *Geschwindigkeit (gleichförmig, +)*, Grün = *Geschwindigkeit (gleichförmig, -)*

Vergleicht man die Signalstärken der Feature-Veränderungen aus Abbildung 44 untereinander, wird deutlich, dass Unterschiede zwischen den beiden Feature-Veränderungen der Geschwindigkeit (schnell und langsam) vorzufinden sind. Bedingungen mit einer Zunahme der Geschwindigkeit weisen systematisch höhere Signalstärken auf als Bedingungen mit einer Geschwindigkeitsreduktion. Die gewählten Veränderungen der Geschwindigkeiten hatten somit unterschiedliche, jedoch konsistente Effekte auf die Signalstärken. Es ist weiter zu erkennen, dass eine Geschwindigkeitserhöhung zu gleich hohen oder besseren Signalstärken führt wie die Feature-Veränderung *Farbe (statisch)*. Eine Geschwindigkeitsreduktion führt hingegen nur bei acht Objekten zu ähnlich hohen Signalstärken.



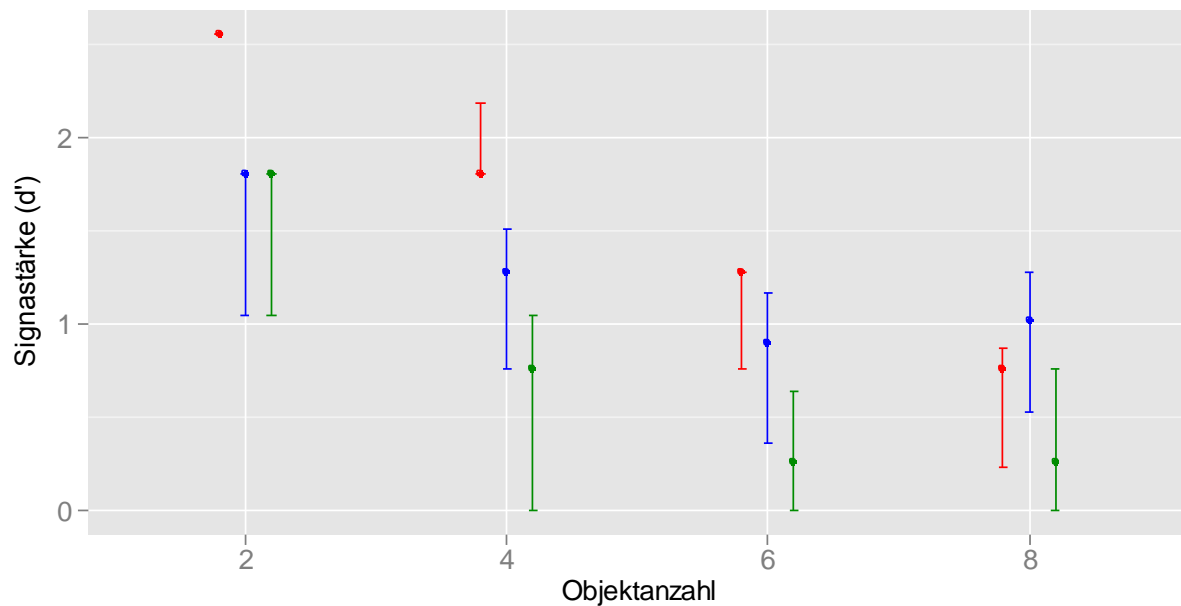


Abbildung 45: Mediane und Konfidenzintervalle der Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen bei mehrfarbigen Objekten sowie Farbveränderung bei dynamischen Objekten. Rot = *Farbe (dynamisch)*, Blau = *Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)*, Grün = *Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)*

In Bedingungen mit mehrfarbigen Objekten (siehe Abbildung 45) sind die Effekte nicht so klar beobachtbar. Hier sind die Signalstärken bei einer Geschwindigkeitszunahme in Bedingungen mit zwei Objekten identisch mit denen bei einer Geschwindigkeitsreduktion, wohingegen bei vier Objekten eine Geschwindigkeitszunahme zu höheren Signalstärken führt als eine Geschwindigkeitsreduktion. Die Feature-Veränderung *Farbe (dynamisch)* weist bei zwei sowie bei vier Objekten höhere Signalstärken auf als die Geschwindigkeitsveränderungen. Dies ändert sich jedoch bei Objektanzahlen von sechs und acht. Bei sechs Objekten sind die Signalkstärken bei Geschwindigkeitszunahmen sowie *Farbe (dynamisch)* ähnlich hoch, wohingegen Geschwindigkeitsreduktionen niedrigere Signalstärken aufweisen. Bei acht Objekten weisen Bedingungen mit Geschwindigkeitszunahmen mit *Farbe (dynamisch)* vergleichbare Signalstärken auf. Bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen sind die Signalstärken im Vergleich zu positiven Geschwindigkeitsveränderungen sowie zu *Farbe (dynamisch)* niedriger.

## 5 Diskussion

Die vorliegende Arbeit untersuchte, ob Geschwindigkeit ein Feature im Sinne der Feature Integration Theory (Treisman, 1980) darstellt. Um dies zu untersuchen, wurden Ergebnisse aus einer Studie von Luck und Vogel (1997) als Referenz herangezogen. Luck und Vogel untersuchten Farbe als Feature. Genauer wurde in der Studie die Auswirkung der Objektanzahl auf die Wahrnehmbarkeit von Farbveränderungen im Rahmen einer Sequential Comparison Procedure untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie konnten in der vorliegenden Untersuchung repliziert werden.

Zudem wurden vergleichbare Experimentalbedingungen geschaffen, in denen Geschwindigkeit als Feature untersucht werden sollte. Es wurden Signalstärken anhand der Signal Detection Theory berechnet und Reaktionszeiten gemessen. Wäre Geschwindigkeit ein Feature, sollten die Signalstärken sowie Reaktionszeiten von Farb- und Geschwindigkeitsbedingungen ähnlich sein. Anhand der vorliegenden Ergebnisse können einige Schlüsse gezogen werden, jedoch bedarf es einer genaueren Definition von Features, um quantitative und empirisch exakte Aussagen treffen zu können.

### 5.1 Interpretation und kritische Reflexion der Ergebnisse

Vergleicht man die Ergebnisse der Farbveränderung bei statischen Objekten mit den Erkenntnissen von Luck und Vogel (1997), werden Gemeinsamkeiten deutlich. Es kommt mit steigender Objektanzahl zu etwa der gleichen Reduktion der Signalstärken. Dies lässt den Schluss zu, dass die gemessenen latenten Variablen in der vorliegenden Untersuchung zumindest mit denen aus der Untersuchung von Luck und Vogel vergleichbar sind. In Bezug auf die Reaktionszeiten konnte der von Treisman (1986) gefundene Effekt der Objektanzahl bei *Conjunction-Suchen* repliziert werden. Die Reaktionszeit nimmt mit steigender Objektanzahl zu. Dies impliziert, dass es zu keinem Popout-Effekt der Feature-Veränderung kam und mit Treismans Untersuchungsbedingungen vergleichbare Bedingungen präsentiert wurden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass in der Feature-Veränderung *Farbe (statisch)* Farbe tatsächlich ein Feature war. Dies rechtfertigt, dass diese Feature-Veränderung als Referenz herangezogen wurde.

Die Fragestellung, welchen Einfluss Dynamik auf die Signalstärke sowie Reaktionszeit hat, konnte in der Studie beantwortet werden. Dynamik hatte im Rahmen dieses Experiments keinen signifikanten Einfluss auf die Signalstärke, jedoch war ein Einfluss auf die Reaktionszeit zu verzeichnen. Diese Ergebnisse decken sich mit der Aussage von

Treisman (1980), dass die Verarbeitung bei sich bewegenden Objekten ein Update des Orts erfordert, was zu höherer kognitiver Beanspruchung und somit zu längeren Reaktionszeiten führt.

In Bezug auf Geschwindigkeitsveränderungen sind die Ergebnisse teilweise sehr heterogen. Während die Signalstärken bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen von gleichfarbigen Objekten höher sind als bei mehrfarbigen, ist dieser Effekt bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen nicht zu beobachten. Die Effekte der positiven Geschwindigkeitsveränderungen lassen sich wie folgt interpretieren: Bei gleichfarbigen Bedingungen waren die Signale besser zu erkennen als bei mehrfarbigen, da die Signale bei mehrfarbigen Objekten durch die gleichzeitige Präsentation der Farben abgeschwächt wurden. Bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen ist dieser Effekt nicht zu beobachten.

Der Unterschied des Effekts von positiven und negativen Geschwindigkeitsveränderungen könnte durch die Methode erklärbar sein, mit der der Grad der Geschwindigkeitsveränderung gewählt wurde. Es wurde versucht, Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit zu wählen, die unabhängig von der Änderungsrichtung (schneller / langsamer) möglichst vergleichbar sind. Dafür wurde die Geschwindigkeit bei positiven Veränderungen etwa verdoppelt und bei negativen Veränderungen etwa halbiert (siehe Formeln 2 und 3). Dies führte dazu, dass die Geschwindigkeitsdifferenzen im Verhältnis gleich, die absoluten Differenzen jedoch unterschiedlich groß waren. Folglich wiesen Targets in Bedingungen, in denen es zu einer positiven Geschwindigkeitsveränderung kam, im Vergleich zu Targets in Bedingungen mit einer Geschwindigkeitsreduktion absolut eine etwa doppelt so große Geschwindigkeitsdifferenz auf. Als ein Target, das anfänglich beispielsweise eine Geschwindigkeit von  $4^\circ/\text{s}$  hatte, hatte bei einer positiven Geschwindigkeitsveränderung eine Geschwindigkeit von etwa  $8^\circ/\text{s}$  und bei einer negativen Geschwindigkeitsveränderung eine Geschwindigkeit von  $2^\circ/\text{s}$ . Das heißt, die absolute Differenz war bei der positiven Geschwindigkeitsveränderung doppelt so groß wie bei der negativen. Dies kann dazu geführt haben, dass durch die absolut größere Geschwindigkeitsdifferenz bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen diese besser wahrzunehmen waren als bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen, bei denen die Geschwindigkeitsdifferenz etwa halb so groß war. Diese Erkenntnisse lassen die Vermutung zu, dass die Signalstärke einer Geschwindigkeitsveränderung mit zunehmender Geschwindigkeitsdifferenz ansteigt. Zur Bestätigung sind weitere Studien notwendig, die diesen Effekt replizieren.

Eine mögliche weitere Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse bei positiven und negativen Geschwindigkeitsveränderungen ist, dass bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen der Vergleich der mentalen Repräsentation des Samples mit dem Test schneller stattfinden kann und dementsprechend leichter ist. Grund dafür könnte sein, dass die zurückgelegte Distanz des Targets während der Präsentationszeit im Test bei positiven Geschwindigkeitsveränderungen größer ist als die zurückgelegte Distanz des Targets während der Präsentationszeit im Sample. Bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen hingegen ist die zurückgelegte Distanz des Targets im Test kleiner als die Distanz im Sample. Somit kann der endgültige Vergleich des Tests mit der mentalen Repräsentation des Sample nur deutlich langsamer stattfinden, da länger gewartet werden muss, bis sich Sample und Test unterscheiden. Dies wirkt sich neben den Signalstärken auch auf die Reaktionszeiten aus, die bei negativen Geschwindigkeitsveränderungen tendenziell länger sind, als bei positiven.

Betrachtet man die beobachteten Unterschiede zwischen den Bedingungen mit Farbveränderungen und mit Geschwindigkeitsveränderungen, so ist möglich, dass die Unterschiede in den Effekten dadurch hervorgerufen wurden, dass die Feature-Veränderungen von Farbe und Geschwindigkeit nicht proportional zueinander waren. Das heißt, es müsste überprüft werden, ob beispielsweise eine Geschwindigkeitsveränderung von  $7.67^\circ/\text{s}$  auf  $16.87^\circ/\text{s}$  den gleichen Effekt hat wie ein Farbveränderung von Rot auf Gelb oder von Grün auf Rot. Sicherlich gibt es Unterschiede der Signalstärken zwischen den Farbveränderungen von beispielsweise Rot auf Weiß und von Rot auf Hellrot. Wolfe (1994) klassifiziert Farben und Ausrichtungen mithilfe bestimmter Grenzwerte, um Unterschiedsschwellen zu definieren. Dieses Vorgehen führt jedoch zu einer kategorialen Dimension. Er betont, dass es notwendig ist, die Metriken von Features genauer zu untersuchen, um ein genaueres Verständnis über diese Feature zu erlangen. Metrische Eigenschaften von Features würden außerdem die Aussagekraft der Ergebnisse erhöhen.

Eine erster Ansatz zur Untersuchung der Metrik des Features Farbe wurde in Studien von Carter und Carter (1981) umgesetzt. Carter und Carter untersuchten im Rahmen eines Visual Search Paradigmas, wie sich die Größe von Farbunterschieden auf die Suchzeit auswirkt. Sie spezifizierten dabei die Farbunterschiede anhand von Distanzen im CIE-LUV-Farbraumsystem und CIE Lab-Farbraumsystem. Sie fanden heraus, dass die Suchzeit etwa exponentiell mit der Distanz der Farben im Farbraum ansteigt. Zudem stellte Carter (1982) im Zusammenhang mit einer *Feature-Suche* in einem Visual Search Paradigma fest, dass die

Suchzeit etwa linear mit zunehmender Objektanzahl ansteigt, wenn der Farbunterschied zwischen Target und Distraktoren klein ist. Dies impliziert eine serielle und keine parallele Suche, wie sie nach Treisman (1986) stattfinden müsste. Erst ab einer bestimmten Minimaldistanz im Farbraum kam es zu parallelem Suchen. Nagy und Sanchez (1990) konnten die Ergebnisse, dass es bei kleinen Farbunterschieden zu seriellen Suchen kommt, replizieren. Diese Ergebnisse implizieren, dass eine genauere Spezifikation von der hier untersuchten Feature nötig ist, um valide Ergebnisse über die Wahrnehmung von Unterschieden zu erhalten. Um ein Experiment mit einer größeren Aussagekraft zu erstellen, ist es also notwendig, die Dimensionen Farbe und Geschwindigkeit genauer zu definieren und herauszufinden, welcher Unterschied in der Farbintensität welchem Unterschied in der Geschwindigkeit entspricht. An dieser Stelle könnte die Erkenntnis über den Zusammenhang zwischen den absoluten Geschwindigkeitsdifferenzen und den Signalstärken als Anhaltspunkt dienen. Weitere Studien könnten die Effekte unterschiedlicher Farbraum- sowie Geschwindigkeitsdifferenzen untersuchen. Das Ziel wäre dabei, jeweils die Differenzen zu finden, die zu gleich hohen Signalstärken bei Farb- und Geschwindigkeitsveränderungen führen. Hier könnte dann angesetzt werden, um eine metrische Dimension der Differenzen zu konstruieren, die es erlauben würde Farb- und Geschwindigkeitsunterschiede vergleichbar zu machen.

Die schwachen Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen könnten zusätzlich zu den schon genannten Einschränkungen diverse andere Gründe haben. Die Trials wurden für jede Person randomisiert erstellt, somit hatten keine Versuchspersonen die selben Trials. Dies hatte zusätzliche Varianz in den Ergebnissen zufolge, da zusätzlich zur interpersonellen Varianz die Varianz der unterschiedlichen Trials hineinspielte. Dieses Vorgehen senkt die interne Validität der Studie, kontrolliert jedoch für Effekte von bestimmten Konstellationen von Farben und Geschwindigkeiten und stärkt die externe Validität der Ergebnisse. Es ist zu beachten, dass die geringen Signalstärken und die teilweise heterogenen Ergebnisse der Studie Folgen dieser zusätzlichen Varianzquelle darstellen können.

In Bezug auf die Reaktionszeiten lassen sich in der vorliegenden Untersuchung unterschiedliche Effekte beobachten. Zum einen weisen die Bedingungen, in denen nur die Geschwindigkeit verändert wurde, bei kleinen Objektanzahlen signifikant höhere Reaktionszeiten auf als Bedingungen, in denen die Farbe oder Geschwindigkeit und Farbe verändert wurden. Dieser Unterschied nimmt mit steigender Objektanzahl ab. Eine Erklärung für diese Beobachtung kann sein, dass es Zeit benötigt, Geschwindigkeiten miteinander

vergleichen zu können. Geschwindigkeit lässt sich nur über die Formel Weg pro Zeiteinheit bestimmen, sodass ein Objekt kurz beobachtet werden muss, um den zurückgelegten Weg in einer bestimmten Zeit wahrzunehmen. Eine Eigenschaft wie Farbe ist hingegen mit einem Blick wahrzunehmen. Es müsste also per Definition bei der Wahrnehmung von Geschwindigkeiten zu längeren Reaktionszeiten kommen. Dieser Fakt blieb bei der Generierung der Hypothesen unbeachtet, lässt sich jedoch in den Daten zeigen, vor allem bei Bedingungen mit niedrigen Objektanzahlen.

Dass sich der Effekt in der Reaktionszeit nur bei niedriger Objektanzahl zeigt, könnte durch den signifikanten Interaktionseffekt zwischen Feature-Veränderung und Objektanzahl erklärt werden. Bei wenigen Objekten hat die Objektanzahl keine so deutliche Auswirkung wie bei größeren Objektanzahlen. So ist der Effekt der Feature-Veränderung besser beobachtbar (siehe Abbildung 40). Mit steigender Objektanzahl hat die Objektanzahl eine immer größere Auswirkung und bewirkt bei Farbveränderungen längere Reaktionszeiten, wirkt sich dabei jedoch nicht in gleichem Maße auf die Geschwindigkeitsveränderungen aus. Der Effekt der Objektanzahl hat einen stärkeren Einfluss auf Farbveränderungen als auf Geschwindigkeitsveränderungen, bewirkt also bei Farbveränderungen eine stärkere Reaktionszeitverlängerung als bei Geschwindigkeitsveränderungen. Zusammengefasst bedeutet dies, dass es länger dauert, Geschwindigkeiten wahrzunehmen, die Wahrnehmung jedoch nicht in demselben Maße von Distraktoren (höhere Objektanzahl) beeinflusst wird, wie es bei der Wahrnehmung von Farben der Fall ist.

Es fand keine Korrektur der p-Werte bei der Auswertung statt, was dazu geführt haben könnte, dass einige Effekte überschätzt werden. Aufgrund der explorativen Ausrichtung der Studie ist dieses Vorgehen jedoch nach Bender und Lange (2001) zu rechtfertigen.

Ein weiteres Problem der Untersuchung von Features liegt in den in Abschnitt 2.4 beschriebenen Untersuchungsparadigmen. Die Daten, die mit einem bestimmten Untersuchungsparadigma erhoben werden, sind immer ein Produkt des Paradigmas und spiegeln nicht unbedingt die grundlegenden Prozesse der visuellen Objektwahrnehmung wieder. Daher sind die Ergebnisse immer im Kontext des Paradigmas, der gestellten Aufgabe sowie den verwendeten Stimuli zu interpretieren. An diesem Punkt sollten in zukünftigen Studien wissenschaftliche Richtlinien geschaffen werden, um Ergebnisse aus Experimenten zu visueller Objektwahrnehmung einheitlich interpretieren zu können.

Die Ergebnisse dieser Studie können im Kontext der Sequential Comparison Procedure und für die jeweils verwendeten Farben sowie Geschwindigkeiten interpretiert werden. Es lassen sich trotz dieser Einschränkungen annähernd die gleichen Effekte finden wie bei Treisman (1986) und Luck und Vogel (1997), was bedingt verallgemeinerbare Aussagen auf Grundlage der Ergebnisse zulässt.

## **5.2 Schlussfolgerung und Ausblick**

Das zentrale Ergebnis der Studie ist, dass es Bedingungen gibt, in denen die Wahrnehmung von Geschwindigkeitsunterschieden mit der Wahrnehmung von Farbunterschieden vergleichbar ist. Dies konnte genau dann beobachtet werden, wenn das Signal nicht durch die unterschiedlichen Farben anderer Objekte gestört wurde.

Hatten die Objekte unterschiedliche Farben, waren die Signalstärken der Geschwindigkeitsveränderungen niedriger als die der Farbveränderungen im dynamischen Kontext. Die Geschwindigkeitsveränderungen hätten jedoch ähnlich hohe Signalstärken aufweisen müssen wie Farbveränderungen, um Geschwindigkeit als eines mit Farbe vergleichbares Feature annehmen zu können.

In Bedingungen, in denen sowohl eine Farbveränderung als auch eine Geschwindigkeitsveränderung stattfand, sind die Signalstärken ähnlich hoch wie die der Referenzbedingung *Farbe (statisch)* oder sogar besser, unabhängig davon, welche Geschwindigkeitsveränderung (schneller oder langsamer) stattfand. Farben scheinen somit ein stärkeres Signal zu senden als Geschwindigkeiten. Dass die Signalstärken in diesen Bedingungen teilweise höher waren als Signalstärken in Bedingungen, in denen nur ein Feature verändert wurde, spricht für einen additiven Effekt der Signale von Farbe und Geschwindigkeit. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit den Ergebnissen von Luck und Vogel (1997), die keine additiven Effekte feststellen konnten.

Als abschließende Schlussfolgerung lässt sich festhalten, dass in der vorliegenden Studie Indizien dafür gefunden wurden, dass Geschwindigkeit ein Feature darstellen könnte. Bei der Untersuchung der Geschwindigkeitsveränderungen zeigten sich jedoch für die Signalstärke nicht die Effekte aus vorherigen Untersuchungen anderer Feature wie Farbe oder Ausrichtung. Die Reaktionszeiten bei Geschwindigkeitsveränderungen waren ebenfalls unterschiedlich zu denen bei Farbveränderungen. Außerdem hatte die Objektanzahl einen unterschiedlichen Einfluss auf die Reaktionszeiten bei Farb- und Geschwindigkeitsveränderungen.

Die vorliegende Untersuchung war die erste Untersuchung von Geschwindigkeit als Feature. Auf Grundlage dieser Studie lässt sich noch keine feste Aussage darüber machen, ob Geschwindigkeit ein Feature darstellt oder nicht. Zukünftige Studien sind deshalb nötig, um diesen Sachverhalt zu klären. Zunächst muss eine einheitliche Definition eines Features auf Grundlage metrischer Dimensionen geschaffen werden, um Untersuchungsergebnisse objektiv vergleichen zu können. Ist dies erfolgt, können objektivere Experimente durchgeführt werden, um die Untersuchungsfrage der vorliegenden Studie abschließend zu klären.



## 6 Literaturverzeichnis

- Bender, R., & Lange, S. (2001). Adjusting for multiple testing—when and how? *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(4), 343-349.
- Canty, A., & Ripley, B. (2015). “boot: Bootstrap Functions (Originally by Angelo Canty for S)”. R package version 1.3-17. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/boot/citation.html>.
- Carter, E. C., & Carter, R. C. (1981). Color and conspicuousness. *Journal of the Optical Society of America*, 71(6), 723-729.
- Carter, R. C. (1982). Visual search with color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(1), 127-136.
- Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159.
- Davison, a. C., & Hinkley, D. V. (1997). *Bootstrap methods and their application*. Cambridge university press.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96(3), 433-458.
- D'Zmura, M. (1991). Color in Visual Search. *Vision research*, 31(6), 951-966.
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An {R} Companion to Applied Regression* (2 Ausg.). Thousand Oaks CA: Sage.
- Giraudoux, P. (2015). “pgirmess: Data Analysis in Ecology“. R package version 1.6.2. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/pgirmess/index.html>.
- Green, D. M., & Sweets, J. A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.
- Grosjean, P., Ibanez, F., & Etienne, M. (2014). “pastecs: Package for Analysis of Space-Time Ecological Series“. R package version 1.3-18. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/pastecs/index.html>.

- Gunzelmann, G., & Lyon, D. R. (2007). *Mechanisms for human spatial competence*. (S. 288-207). Berlin Heidelberg: Springer.
- Harrell, F. E. (2015). “Hmisc: Harrell Miscellaneous”. R package version 3.16-0. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/Hmisc/index.html>.
- Haukoos, J. S., & Lewis, R. J. (2005). Advanced statistics: bootstrapping confidence intervals for statistics with “difficult” distributions. *Academic emergency medicine*, 12(4), 360-365.
- Hope, R. M. (2013). “Rmisc: Rmisc: Ryan Miscellaneous”. R package version 1.5. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/Rmisc/index.html>.
- Kim, M.-S., Cave, K. R. (1995). Spatial Attention in Visual Search for Features and Feature Conjunctions. *Psychological Science*, 6(6), 376-380.
- Lawrence, M. A. (2013). “ez: Easy analysis and visualization of factorial experiments”. R package version 4.2-2. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/ez/index.html>.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working. *Nature*(390), 279-281.
- Nagy, A. L., & Sanchez, R. R. (1990). Critical color differences determined with a visual search task. *Journal of the Optical Society of America A*, 7(7), 1209-1217.
- Nagy, A. L., Sanchez, R. R., & Hughes, T. C. (1990). Visual search for color differences with foveal and peripheral vision. *Journal of the Optical Society of America*, 7(10), 1995-2001.
- Nothdurft, H.-C. (1993). The Role of Features in Preattentive Vision: Comparison of Orientation, Motion and ColorCues. *Vision research*, 33(14), 1937-1958.
- Papenmeier, F., Huff, M., & Schwan, S. (2012). Representation of dynamic spatial configurations in visual short-term memory. *Attention, perception & psychophysics*, 74(2), 397-415.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 283-290.

- Schoenefeld, M. A., Tempelmann, C., Martinez, A., Hopf, J.-M., Sattler, C., Heinze, H.-J., & Hillyard, S. A. (2003). Dynamics of feature binding during object-selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(20), 11806-11811.
- Smallman, H. S., & Boynton, R. M. (1990). Segregation of basic colors in an information display. *Journal of the Optical Society of America A*, 7(10), 1985-1994.
- Treisman, A. M. (1980). A Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*(12), 97-136.
- Treisman, A. M. (1986). Features and Objects in Visual Processing. *Scientific American*, 255(5), 114-125.
- Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3), 459-478.
- Wickham, H. (2007). Reshaping Data with the reshape Package. *Journal of Statistical Software*, 21(12), 1-20.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.
- Wickham, H. (2011). The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), 1-29.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic bulletin & review*, 1(2), 202-238.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 419-433.
- Wollschläger, D. (2015). *Grundlagen der Datenanalyse mit R: eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer-Verlag.
- Zeki, S. M. (1967). The functional organization of projections from striate to prestriate visual cortex in the rhesus monkey. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 40, 591-600.

## **Anhang**

Anhang A: Power-Point Instruktion

Anhang B: Valide Blickdaten sowie Anteile der Blicke auf das AOI in %

Anhang C: Werte für das Konzentrationsvermögen sowie die natürliche Reaktionszeit

Anhang D: Deskriptive Statistiken der Differenzen der Signalstärken

Anhang E: Berechnete Konfidenzintervalle für die Reaktionszeiten

Anhang F: Daten der Konfidenzintervalle der Signalstärke für  
Geschwindigkeitsveränderungen sowie Farbveränderungen.

Anhang G: Variablenliste

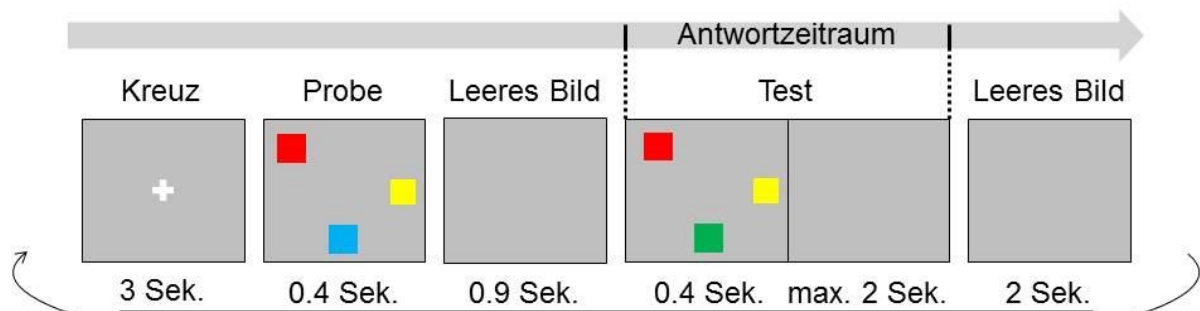
Anhang H: Eidesstattliche Erklärung






Anhang I: Erklärung zur Veröffentlichung in Bibliotheken

## Anhang A: Power-Point Instruktion

DLR.de • Folie 2

### Experiment - Ablauf



	Probe	Test
• Farbe		
• Geschwindigkeit		
• Farbe & Geschwindigkeit		

- Instruktion: „Waren die Szenarien identisch?“
- Präsentation des zweiten Testscreens wird durch Tastatureingabe beendet.



## **Anhang B: Valide Blickdaten sowie Anteile der Blicke auf das AOI in %**

<b>VP</b>	<b>Valide Blickdaten</b>	<b>Blick auf AOI</b>
<b>1</b>	56.09	41.63
<b>2</b>	97.83	96.23
<b>3</b>	95.75	87.70
<b>4</b>	97.57	93.59
<b>5</b>	94.04	91.82
<b>6</b>	91.28	88.90
<b>7</b>	99.11	97.60
<b>8</b>	99.15	91.65
<b>9</b>	94.81	87.79
<b>10</b>	94.14	85.09
<b>11</b>	67.41	67.14
<b>12</b>	93.09	89.76
<b>13</b>	97.93	95.30
<b>14</b>	98.88	95.62
<b>15</b>	90.83	66.22
<b>16</b>	67.55	66.67
<b>17</b>	92.95	76.15
<b>18</b>	88.38	85.54
<b>19</b>	98.33	84.82
<b>20</b>	75.05	66.51
<b>21</b>	83.32	79.06
<b>22</b>	93.90	73.11

## Anhang C: Werte für das Konzentrationsvermögen sowie die natürliche Reaktionszeit

<b>VP</b>	<b><math>d'</math> D2</b>	<b>Mittleres <math>d'</math> Experiment</b>	<b>Mittlere Reaktionszeit D2 (s)</b>	<b>Mittlere Reaktionszeit Experiment (s)</b>
1	0.11	1.87	0.65	0.79
2	-0.15	1.68	0.52	0.94
3	0.28	1.23	0.46	0.96
4	0.07	1.47	0.69	0.88
5	0.61	1.30	0.63	1.00
6	0.23	1.73	0.61	1.14
7	0.80	1.39	0.51	0.77
8	0.06	1.08	0.66	1.06
9	0.80	1.61	0.53	0.73
10	0.59	0.54	0.66	0.74
11	0.58	1.63	0.58	0.71
12	0.74	1.61	0.56	0.82
13	0.73	1.28	0.59	0.95
14	0.84	1.77	0.53	1.02
15	-0.01	1.27	0.63	0.90
16	0.17	1.35	0.59	0.98
17	0.00	1.18	0.67	0.90
18	0.80	1.39	0.51	0.71
19	0.11	1.17	0.62	0.87
20	0.20	1.37	0.65	1.17
21	0.38	1.97	0.58	0.92
22	0.74	1.35	0.61	0.97

## Anhang D: Deskriptive Statistiken der Differenzen der Signalstärken

Veränderung	Objektanzahl	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Shapiro <i>p</i>
Farbe (statisch)	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Farbe (statisch)	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Farbe (statisch)	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Farbe (statisch)	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Farbe (dynamisch)	2	-0.02	0.00	0.48	-0.76	1.51	0
Farbe (dynamisch)	4	-0.21	0.00	0.74	-1.51	1.28	0.465
Farbe (dynamisch)	6	0.20	0.00	1.03	-1.81	2.04	0.37
Farbe (dynamisch)	8	0.22	0.00	0.83	-1.28	2.56	0.174
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2	-0.14	0.00	0.63	-1.81	0.76	0.001
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	4	-0.14	-0.10	0.86	-1.51	1.81	0.21
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	6	0.34	0.52	0.89	-1.81	1.81	0.37
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	8	0.75	0.52	0.94	-0.92	2.56	0.249
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	2	-0.57	-0.38	0.78	-2.04	0.76	0.024
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	4	-1.11	-1.05	1.07	-3.32	0.52	0.161
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	6	-0.47	-0.52	1.14	-2.56	1.81	0.345
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	8	-0.40	-0.64	0.91	-1.81	1.81	0.365
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	2	-0.47	0.00	0.75	-1.81	0.76	0.014
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	4	-0.48	-0.52	0.87	-1.81	1.05	0.242
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	6	-0.20	0.00	0.64	-1.28	1.05	0.185
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	8	0.37	0.52	0.99	-1.81	2.77	0.143
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	2	-0.55	-0.76	0.78	-1.81	0.76	0.067
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	4	-1.26	-1.17	0.93	-2.56	0.76	0.272
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	6	-0.64	-0.76	0.68	-1.81	0.76	0.151
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	8	-0.30	-0.76	1.03	-1.81	2.33	0.166



Farbe & Geschwindigkeit (+)	2	-0.02	0.00	0.63	-1.51	1.51	0.006
Farbe & Geschwindigkeit (+)	4	0.05	0.00	0.77	-2.56	1.28	0
Farbe & Geschwindigkeit (+)	6	0.30	0.41	0.78	-1.05	1.81	0.683
Farbe & Geschwindigkeit (+)	8	0.67	0.76	0.81	-0.76	2.77	0.213
Farbe & Geschwindigkeit (-)	2	0.00	0.00	0.47	-0.76	1.51	0
Farbe & Geschwindigkeit (-)	4	-0.10	0.00	0.69	-1.28	1.28	0.165
Farbe & Geschwindigkeit (-)	6	0.42	0.26	1.15	-1.81	2.56	0.145
Farbe & Geschwindigkeit (-)	8	0.48	0.52	0.89	-0.76	2.33	0.477

## Anhang E: Berechnete Konfidenzintervalle für die Reaktionszeiten

Veränderung	Objektanzahl	<i>M</i>	KI Obere Grenze	KI Untere Grenze
Farbe (statisch)	2	0.79	0.85	0.74
Farbe (statisch)	4	0.82	0.89	0.76
Farbe (statisch)	6	0.88	0.96	0.81
Farbe (statisch)	8	0.90	0.98	0.82
Farbe (dynamisch)	2	0.81	0.86	0.76
Farbe (dynamisch)	4	0.88	0.94	0.82
Farbe (dynamisch)	6	0.91	0.98	0.85
Farbe (dynamisch)	8	0.96	1.03	0.88
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2	0.85	0.90	0.79
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	4	0.89	0.95	0.84
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	6	0.91	0.97	0.84
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	8	0.93	1.01	0.86
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	2	0.91	0.96	0.85
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	4	0.93	1.00	0.87
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	6	0.94	1.01	0.87
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	8	0.92	0.99	0.84
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	2	0.88	0.94	0.82
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	4	0.91	0.97	0.86
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	6	0.95	1.02	0.89
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	8	0.95	1.02	0.89
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	2	0.93	0.98	0.87
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	4	0.97	1.05	0.90
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	6	0.96	1.04	0.88
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	8	0.99	1.07	0.91
Farbe & Geschwindigkeit (+)	2	0.80	0.84	0.75
Farbe & Geschwindigkeit (+)	4	0.89	0.96	0.81
Farbe & Geschwindigkeit (+)	6	0.93	0.99	0.88
Farbe & Geschwindigkeit (+)	8	0.97	1.04	0.90
Farbe & Geschwindigkeit (-)	2	0.81	0.87	0.75
Farbe & Geschwindigkeit (-)	4	0.90	0.99	0.82
Farbe & Geschwindigkeit (-)	6	0.94	1.01	0.88
Farbe & Geschwindigkeit (-)	8	0.95	1.02	0.88

**Anhang F: Daten der Konfidenzintervalle der Signalstärke für  
Geschwindigkeitsveränderungen sowie Farbveränderungen.**

<b>Veränderung</b>	<b>Objekt -anzahl</b>	<b><i>Md</i></b>	<b>Bias</b>	<b>Schätz- methode</b>	<b>Untere Grenze</b>	<b>Obere Grenze</b>
Farbe (statisch)	2	2.56	0.00	Basic	2.56	2.56
Farbe (statisch)	4	1.81	0.15	Basic	1.81	1.05
Farbe (statisch)	6	1.28	-0.09	BCa	1.65	0.64
Farbe (statisch)	8	0.76	-0.02	BCa	0.76	0.00
Farbe (dynamisch)	2	2.56	-0.01	Basic	2.56	2.56
Farbe (dynamisch)	4	1.81	-0.03	Basic	2.17	1.81
Farbe (dynamisch)	6	1.28	0.00	BCa	1.28	0.69
Farbe (dynamisch)	8	0.76	0.05	Basic	0.87	0.23
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	2	2.56	-0.01	Basic	2.56	2.56
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	4	1.81	-0.01	Basic	2.33	1.43
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	6	1.81	-0.19	BCa	1.81	0.90
Geschwindigkeit (gleichfarbig, +)	8	1.54	-0.02	BCa	1.81	0.90
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	2	1.81	0.10	Basic	2.33	1.05
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	4	0.76	0.09	Basic	1.14	0.23
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	6	0.76	-0.14	BCa	0.76	0.00
Geschwindigkeit (gleichfarbig, -)	8	0.00	0.04	BCa	0.76	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	2	1.81	0.14	Basic	1.81	1.05
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	4	1.28	0.16	Basic	1.51	0.76
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	6	0.90	-0.04	BCa	1.17	0.37
Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)	8	1.02	0.01	BCa	1.28	0.52
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	2	1.81	0.07	Basic	1.81	1.05
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	4	0.76	-0.10	BCa	1.02	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	6	0.26	0.03	BCa	0.64	0.00
Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)	8	0.26	0.03	BCa	0.64	0.00

## Anhang G: Variablenliste

### Demographische Variablen

Variable	Erklärung
VP	Versuchsperson
Date	Datum
Alter	Alter der VP
Exp	Experimentalbedingung oder Training <ul style="list-style-type: none"> <li>Experiment = exp</li> <li>Training = training</li> </ul>
Farbschwäche	Farbschwäche der VP
Geschlecht	Geschlecht der VP <ul style="list-style-type: none"> <li>m = männlich</li> <li>w = weiblich</li> </ul>
Sehhilfe	Sehhilfe der VP <ul style="list-style-type: none"> <li>Brille = Brille</li> <li>Kontakt = Kontaktlinsen</li> </ul>
Sehhilfe_heute	Sehhilfe, die die VP beim Experiment verwendete <ul style="list-style-type: none"> <li>Brille = Brille</li> <li>Kontakt = Kontaktlinsen</li> </ul>
Time	Zeit in Unix Time UTC

### Abhängige Variablen

Erklärung der Kodierung der Feature-Veränderungen

Feature-Veränderung	Feature-Veränderung kodiert
<i>Farbe (statisch)</i>	color_change
<i>Farbe (dynamisch)</i>	color_dyn_change
<i>Geschwindigkeit (einfarbig, +)</i>	speed_fast_base_change
<i>Geschwindigkeit (einfarbig, -)</i>	speed_slow_base_change
<i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, +)</i>	speed_fast_change
<i>Geschwindigkeit (mehrfarbig, -)</i>	speed_slow_change
<i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (+)</i>	conjunction_fast_change
<i>Farbe &amp; Geschwindigkeit (-)</i>	conjunction_slow_change

Kodierschema der abhängigen Variablen

Feature-Veränderung kodiert	Bedingungen ohne Veränderung	Objekt-anzahl	Wiederholung	Kennwert
color_change_	_no_change_			_Key
color_dyn_change_	_no_change_			_Key_result
speed_fast_base_change_	_no_change_	_02_	_01_	_Key_C
speed_slow_base_change_	_no_change_	_04_	_02_	_RT
speed_fast_change_	_no_change_	_06_	_03_	_Start
speed_slow_change_	_no_change_	_08_	_04_	_End
conjunction_fast_change_	_no_change_			_Length
conjunction_slow_change_	_no_change_			

#### Erklärungen der Kennwerte

Kennwert	Erklärung	Werte
Key	Gedrückte Taste	j = ja n = nein
Key_C	korrekte Taste	j = ja n = nein
Key_result	Ergebnis	1 = richtig 0 = falsch
RT	Reaktionszeit	Sekunden
Start	Startzeit des Trials	Unix Time UTC
End	Endzeit des Trials	Unix Time UTC
Length	Länge des Trials	Sekunden

#### Beispiele

- color\_change\_02\_04
  - Feature-Veränderung: Farbe (statisch), Feature verändert sich
  - Objektanzahl: 2
  - Wiederholung: 4
- speed\_fast\_change\_no\_change\_04\_03
  - Feature-Veränderung: Geschwindigkeit (mehrfarbig, +), Feature verändert sich nicht
  - Objektanzahl: 4
  - Wiederholung: 3

## **Anhang H: Eidesstattliche Erklärung**

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Masterarbeit von mir selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt worden ist. Inhalte und Passagen, die aus fremden Quellen stammen und direkt oder indirekt übernommen worden sind, wurden als solche kenntlich gemacht. Ferner versichere ich, dass ich keine andere, außer der im Literaturverzeichnis angegebenen Literatur, verwendet habe. Die Arbeit wurde bisher keiner Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Braunschweig, den 26.08.2015

---

Max Friedrich

## **Anhang I: Erklärung zur Veröffentlichung in Bibliotheken**

### **Erklärung zur Veröffentlichung in Bibliotheken**

Hiermit erkläre ich mich mit der Veröffentlichung meiner Masterarbeit in Bibliotheken einverstanden.

Braunschweig, den 26.08.2015

---

Max Friedrich